

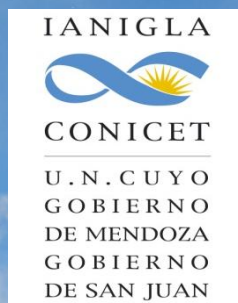
# **Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución**

**Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales**

**Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas**

**IANIGLA-CONICET**

**Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza**



# **Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución**

Documento preparado por el

**Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales  
(IANIGLA)**

**Unidad Ejecutora del  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
(CONICET)**

en cumplimiento con lo establecido por la Ley 26.639 de

**Presupuestos Mínimos para la Preservación  
de los Glaciares y del Ambiente Periglacial**

del 28 de Octubre de 2010



Lago Argentino, glaciares del Braço Spegazzini y Lago Onelli, Santa Cruz

IANIGLA



CONICET

U.N. CUYO  
GOBIERNO  
DE MENDOZA  
GOBIERNO  
DE SAN JUAN

Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza  
Diciembre de 2010



## Índice

1. Fundamentos .....	3
2. Objetivos .....	7
3. Antecedentes .....	9
4. Estado actual de los glaciares y el ambiente periglacial en Argentina .....	14
5. Definiciones a los fines del Inventario Nacional .....	20
6. Organización geográfica del Inventario Nacional de Glaciares.....	22
7. Estrategia de monitoreo jerárquico .....	25
8. Organización del personal.....	28
9. Métodos.....	30
10. Organización de la base de datos del Inventario .....	44
11. Presentación y difusión de resultados.....	47
12. Implementación de las tareas.....	48
13. Presupuesto .....	53
14. Referencias.....	65
Anexo 1: Definiciones complementarias.....	71
Anexo 2: Listado de subcuencas que se utilizarán como base para las tareas de inventario .....	82
Anexo 3: Acciones fijadas por la Dirección de Gestión Ambiental de los Recursos Hídricos de la Secretaría de Ambiente de la Nación .....	86





Cordón Adela y Cerro Torre, Santa Cruz

## Fundamentos

### 1. Fundamentos

Argentina es uno de los pocos países del mundo que cuenta con varios miles de kilómetros cuadrados de glaciares y permafrost de montaña en su territorio. Según cálculos aproximados, Sudamérica tendría cerca de 25.500 km<sup>2</sup> cubiertos por glaciares, con un 75% del área total ubicada en Chile (Williams y Ferrigno 1999; UNEP 2007). Nuestro país ocupa el segundo lugar después de Chile, con cerca del 15% del área total de glaciares sudamericanos. Estos porcentajes colocan tanto a Chile como a la Argentina en una posición privilegiada con respecto a otros países, pero también les otorgan un mayor grado de responsabilidad para el estudio, monitoreo y protección de los glaciares en esta región del planeta. Sin embargo, a pesar de la gran extensión de hielo que existe en nuestro país y su clara importancia socio-económica, geopolítica, ambiental y científico-académica, el conocimiento actual sobre los glaciares y el ambiente periglacial<sup>1</sup> en la Argentina es muy limitado. Si bien en las últimas décadas se ha avanzado significativamente en el estudio de nuestros cuerpos de hielo, aún hoy sólo un puñado de sitios han sido analizados en detalle, y en la actualidad no existe información sobre la ubicación, área total, significancia hidrológica o la historia reciente de los glaciares y geoformas periglaciales (también llamadas crioformas) a lo largo de vastas porciones de la Cordillera de los Andes.

En la Argentina los glaciares y crioformas cumplen un papel trascendente en el desarrollo regional y son componentes emblemáticos del patrimonio ambiental de los Andes. Entre otros atributos, estos cuerpos de hielo son reconocidos como componentes cruciales del sistema hidrológico de montaña y como “reservas estratégicas” de agua para las zonas bajas adyacentes. Dado que la escorrentía en una cuenca sin glaciares ni crioformas dependería casi exclusivamente de la precipitación que en ella ocurra (con caudales extremadamente reducidos o nulos durante sequías prolongadas), conocer el número, área y distribución espacial de los cuerpos de hielo no sólo brinda una estimación de las reservas hídricas en estado sólido existentes en las diferentes cuencas andinas, sino también información básica para conocer la capacidad reguladora de dichos cuerpos sobre los caudales en distintas condiciones climáticas. Estos conocimientos son fundamentales para establecer medidas de manejo y adaptación frente a eventos de escases hídrica en las distintas regiones y para las

---

<sup>1</sup> Ver Sección 5 y Anexo 1: Definiciones.

diferentes actividades socioeconómicas que dependen de los recursos hídricos en las regiones áridas del oeste argentino.

Muchos de los glaciares en la Argentina constituyen importantes atractivos turísticos que generan ingresos significativos para las economías locales y nacionales. Por ejemplo, en el sur de la Patagonia, los glaciares son el elemento central de atracción turística del Parque Nacional Los Glaciares, uno de nuestros parques emblemáticos que por su belleza y singularidad ha sido declarado Patrimonio Mundial de la Humanidad por la UNESCO. El Calafate, la principal población en las cercanías del Parque, ha sido llamada la “Ciudad del Glaciar”: allí las actividades turísticas desarrolladas en torno a los glaciares son la base del desarrollo regional.

Los cuerpos de hielo cordilleranos también constituyen excelentes laboratorios naturales para estudios científicos. Además de muchos estudios de índole hidrológica y geológica que pueden desarrollarse utilizando estos laboratorios naturales, los glaciares ocupan un lugar destacado a nivel mundial como indicadores de cambios climáticos del pasado y del presente en diversas regiones del planeta. En efecto, el rápido retroceso de los glaciares en los Andes y otras regiones montañosas del mundo es generalmente considerado como una señal de alarma a escala global al ser uno de los signos más claros del calentamiento que ha experimentado la superficie terrestre en las últimas décadas.

La pérdida o disminución drástica del volumen glaciar observado en los Andes y en otras regiones montañosas del planeta acarrea también riesgos adicionales poco conocidos. Las morenas o depósitos terminales (que se formaron en el pasado durante avances del frente de hielo) generalmente endican el agua cuando los glaciares retroceden, formando lagos proglaciales que pueden aumentar rápidamente de tamaño. Por diversos motivos (movimientos sísmicos, lluvias extremas, inestabilidad de los depósitos) estos diques naturales pueden colapsar imprevistamente generando aluviones con consecuencias potencialmente catastróficas para las poblaciones humanas e infraestructura ubicadas aguas abajo. El caso del aluvión del Glaciar Río Manso ocurrido el 21 de Mayo de 2009 en la zona del Monte Tronador, Provincia de Río Negro, es un típico aluvión originado por el colapso de un lago proglacial, pero que afortunadamente sólo afectó puentes e infraestructura en ese sector del Parque Nacional Nahuel Huapi. Dada la gravedad del asunto, este tema está siendo activamente estudiado y monitoreado sobre todo en regiones donde conviven gran cantidad de personas en las cercanías o aguas abajo de zonas montañosas con glaciares en retroceso y que han formado lagos proglaciales (Perú, Himalaya). Lamentablemente hasta el momento en Argentina este tema no ha recibido demasiada atención.

Por todos estos atributos, los servicios ambientales que nos brindan, su alto grado de vulnerabilidad y riesgos asociados a sus variaciones, los glaciares y geoformas periglaciales son concebidos como elementos muy valiosos del paisaje que deben ser estudiados, monitoreados y protegidos para poder conocerlos y preservarlos en su estado natural. Sin embargo, en ciertos casos, estas inmensas moles de hielo han sido objeto de conflictos ambientales debido a la creciente presión de algunos sectores económicos por intervenir zonas englazadas y periglaciales ricas en hielo con fines productivos y de exploración. Estas presiones muchas veces son consideradas amenazas a la existencia de cuerpos de hielo, en particular cuando las mismas implican alteración de las condiciones locales, la dispersión de sustancias tóxicas y la remoción o el traslado de los mismos.

Dada la importancia que tienen los glaciares y las crioformas ricas en hielo para nuestro país, resulta imperioso desarrollar planes y estrategias de estudio y monitoreo de estas masas de hielo que permitan responder a preguntas básicas pero extremadamente relevantes como: ¿Cuántos cuerpos de hielo hay en nuestro país? ¿Qué volumen equivalente en agua tienen? ¿Qué cantidad de agua están aportando a las cuencas de nuestros ríos? ¿Qué cambios han experimentado en el pasado y qué podría esperarse en respuesta a los distintos escenarios de cambios climáticos propuestos para el siglo XXI? ¿Cómo se verán alterados por las distintas actividades humanas que se desarrollen en sus cercanías?

Conscientes de la importancia nacional y regional de los cuerpos de hielo en nuestra Cordillera, entre Junio y Septiembre de 2010 las Honorables Cámaras de Diputados y Senadores de Argentina convirtieron en Ley un Proyecto de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y el Ambiente Periglacial”, que contempla entre otras medidas, la creación de un Inventario Nacional de Glaciares. El 28 de Octubre de 2010 fue promulgada la Ley 26.639 de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”, la cual en su Artículo 3 establece:

*ARTICULO 3º — Inventario. Créase el Inventario Nacional de Glaciares, donde se individualizarán todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.*

Esta iniciativa responde al creciente interés de la sociedad sobre temas ambientales, a una mayor preocupación sobre los efectos adversos que el cambio climático podría tener sobre nuestras reservas estratégicas de agua en estado sólido en la Cordillera de los Andes, y a la necesidad de que Argentina fortalezca las bases científico-tecnológicas que puedan apoyar un desarrollo sustentable de nuestro país. Dentro de este contexto, el “Inventario Nacional de Glaciares” tiene una importancia fundamental ya que sentará las bases para definir el estado actual de nuestras reservas hídricas cordilleranas, los requerimientos científico-técnicos relacionados con la concreción del Inventario Nacional, las interacciones de los cuerpos de hielo con otros sistemas naturales, y los posibles impactos de los cambios climáticos futuros sobre estos recursos estratégicos. Por otra parte, la información registrada en el inventario será una herramienta fundamental para la identificación y delimitación de las zonas protegidas en el marco de la Ley 26.639 de Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial. Estos objetivos son consistentes con las políticas establecidas por la Secretaría de Ambiente de la Nación a través de su Dirección de Gestión Ambiental de los Recursos Hídricos que ha fijado como acciones, entre otras:

1. Elaborar y ejecutar programas y acciones que desde el Estado Nacional promuevan la gestión ambiental de cuencas hídricas y su manejo integrado, y el uso sustentable del agua, en coordinación con los organismos y jurisdicciones involucradas, y
2. Elaborar y ejecutar programas y acciones para el diagnóstico y evolución del estado de los cuerpos de agua continentales, superficiales y subterráneos, y marítimos, el registro de los datos obtenidos y su publicación.

A su vez, el Artículo 4 de la Ley 26.639 indica que *el inventario deberá individualizar y registrar todos los glaciares y geoformas periglaciales que actúan como reservas hídricas en el territorio nacional, establecer su dimensión y su estado (en avance, retroceso, o estacionarios) a fin de conocerlos, monitorearlos y poder planificar la gestión y uso del recurso agua.* Este tipo de información y el conjunto de normas de protección establecidas

por la mencionada Ley de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial son fundamentales para un desarrollo sustentable y armonioso del medio ambiente cordillerano, disminuyendo particularmente la vulnerabilidad de sectores productivos en el oeste argentino que dependen de los escasos recursos hídricos que se generan casi en su totalidad a partir del derretimiento de la nieve y los cuerpos de hielo en la Cordillera de los Andes.

En el contexto de la presente Ley se designa al Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Unidad Ejecutora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), como la institución encargada de realizar, en coordinación con la autoridad nacional de aplicación, el Inventario Nacional de Glaciares:

*ARTICULO 5º — Realización del Inventario. El inventario y monitoreo del estado de los glaciares y del ambiente periglacial será realizado y de responsabilidad del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) con la coordinación de la autoridad nacional de aplicación de la presente ley.*

*Se dará intervención al Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto cuando se trate de zonas fronterizas pendientes de demarcación del límite internacional previo al registro del inventario.*

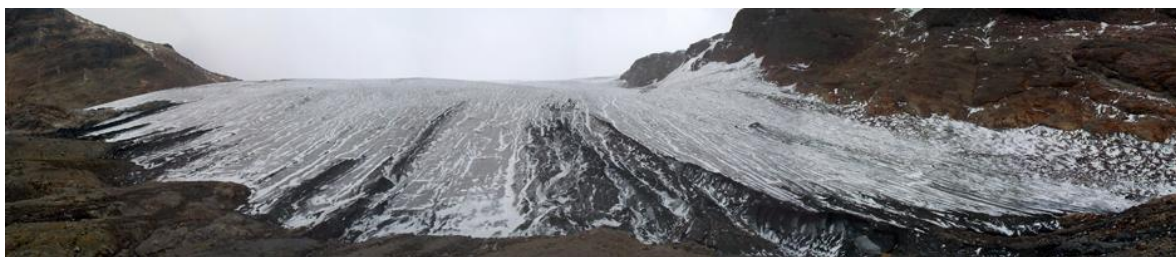
Finalmente, en su Artículo 15, la Ley de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial establece:

*ARTICULO 15. — Disposición transitoria. En un plazo máximo de SESENTA (60) días a partir de la sanción de la presente ley, el IANIGLA presentará a la autoridad nacional de aplicación un cronograma para la ejecución del inventario, el cual deberá comenzar de manera inmediata por aquellas zonas en las que, por la existencia de actividades contempladas en el artículo 6º, se consideren prioritarias. En estas zonas se deberá realizar el inventario definido en el artículo 3º en un plazo no mayor de CIENTO OCHENTA (180) días.*

*Al efecto, las autoridades competentes deberán proveerle toda la información pertinente que el citado instituto le requiera.*

*Las actividades descritas en el artículo 6º, en ejecución al momento de la sanción de la presente ley, deberán, en un plazo máximo de CIENTO OCHENTA (180) días de promulgada la presente, someterse a una auditoría ambiental en la que se identifiquen y cuantifiquen los impactos ambientales potenciales y generados. En caso de verificarse impacto significativo sobre glaciares o ambiente periglacial, contemplados en el artículo 2º las autoridades dispondrán las medidas pertinentes para que se cumpla la presente ley, pudiendo ordenar el cese o traslado de la actividad y las medidas de protección, limpieza y restauración que correspondan.*

En cumplimiento con los mandatos establecidos por la Ley 26.639, el IANIGLA procede a presentar el Cronograma para la Ejecución del Inventario Nacional de Glaciares, cuyos objetivos, antecedentes, estrategia de monitoreo, métodos, costos estimados y tiempos de realización se detallan a continuación.



Glaciar Azufre, Mendoza

## Objetivos

### 2. Objetivos

#### 2.1. Objetivo general

El objetivo principal del “Inventario Nacional de Glaciares” es la identificación, caracterización y monitoreo de todos los glaciares y crioformas que actúan como reservas hídricas estratégicas en la República Argentina, establecer los factores ambientales que regulan su comportamiento, y determinar la significancia hidrológica de estos cuerpos de hielo a la escorrentía andina. Este objetivo general se enmarca en el Objeto de la Ley de Presupuestos Mínimos definido en su Artículo 1.

*ARTICULO 1º — Objeto. La presente ley establece los presupuestos mínimos para la protección de los glaciares y del ambiente periglacial con el objeto de preservarlos como “reservas estratégicas de recursos hídricos” para el consumo humano; para la agricultura y como proveedores de agua para la recarga de cuencas hidrográficas; para la protección de la biodiversidad; como fuente de información científica y como atractivo turístico. Los glaciares constituyen bienes de carácter público.*

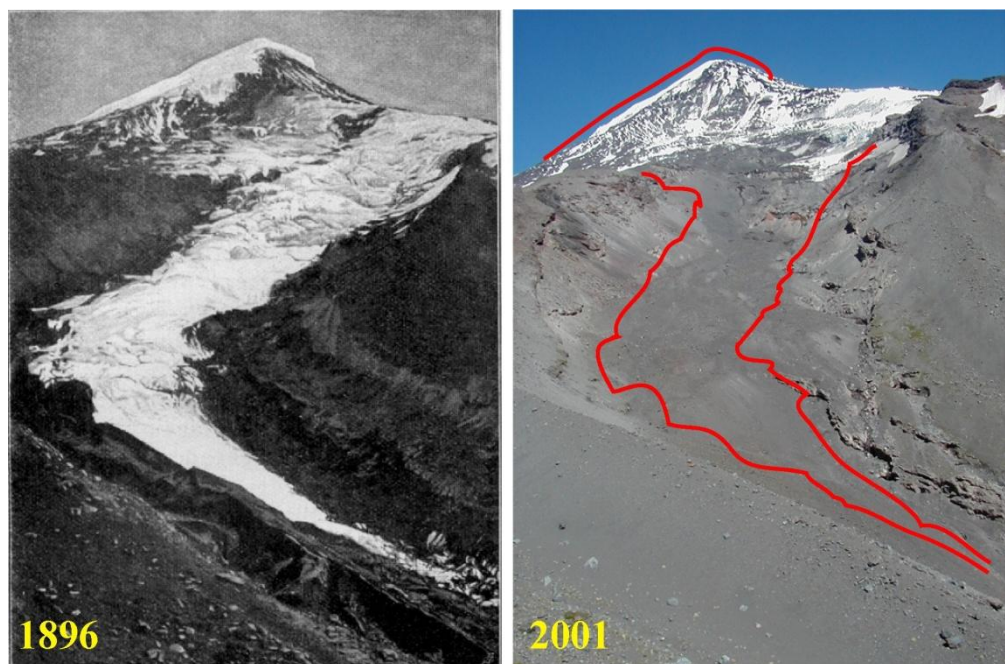
Este Inventario Nacional deberá sentar las bases para un estudio de largo plazo de los cuerpos de hielo de Argentina, su dinámica, hidrología y relación con el ambiente, definiendo metodologías de mapeo y monitoreo sistemáticos aplicables a las diferentes regiones y condiciones ambientales existentes a lo largo de la Cordillera de los Andes.

#### 2.2. Objetivos específicos

1. Implementar metodologías apropiadas para un mapeo y monitoreo eficiente y detallado de los cuerpos de hielo en las distintas regiones del país.
2. Desarrollar recursos humanos en Argentina para abordar la implementación y ejecución del Inventario Nacional de Glaciares y asegurar su continuidad en el tiempo.
3. Definir el tipo y nivel de detalle necesario para que la información glaciológica y geocriológica obtenida permita un manejo adecuado de las reservas estratégicas de recursos hídricos en Argentina.
4. Organizar la base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de manera eficiente y ordenada utilizando un sistema informático online de almacenamiento, intercambio y publicación de resultados parciales y/o finales.



5. Establecer un sistema integrado de observaciones “cuerpos de hielo/clima” que permita, a través de un monitoreo periódico y en sitios cuidadosamente elegidos, determinar los principales factores climáticos que afectan la evolución de las reservas estratégicas de recursos hídricos en el corto y largo plazo.
6. Sentar las bases que permitan continuar con el monitoreo, análisis e integración de la información referente a los glaciares y crioformas en las provincias cordilleranas de manera que las instituciones provinciales y nacionales puedan definir estrategias y políticas adecuadas de protección, control y monitoreo de sus reservas de agua en estado sólido y que las instituciones universitarias puedan usar esta información como herramientas para la investigación científica.
7. Identificar posibles impactos que la pérdida de las masas de hielo podría tener sobre el manejo de los recursos hídricos y otras actividades humanas asociadas.
8. Establecer un Programa de Difusión de la información resultante del Inventario Nacional de Glaciares a través de una política de datos abierta y acceso libre de la información, con el fin de promover los conocimientos adquiridos e incentivar su uso por parte de organismos públicos y privados, los tomadores de decisiones, educadores, científicos y público en general.



**Figura 1.** Comparación fotográfica mostrando los cambios en la extensión del glaciar Lanín Norte en 1896 (Hautal, 1904) y en 2001 (IANIGLA).



Glaciar Esperanza Norte o Tunel, Chubut

## Antecedentes

### 3. Antecedentes

A pesar de la importancia que revisten los glaciares y crioformas a lo largo de nuestra Cordillera, es difícil entender que no exista información precisa sobre el número, ubicación y tamaño de dichos cuerpos de hielo en Argentina. Los escasos inventarios existentes, que representaron los primeros intentos para cuantificar la abundancia de cuerpos de hielo en nuestra Cordillera, son mayormente de carácter regional, parciales, y aún cuando constituyen un valioso material de base, muchos de ellos están desactualizados. Aún hoy en la Cordillera de los Andes hay cuencas de gran importancia hidrológica sin ninguna información glaciológica.

El primer inventario de glaciares de Argentina fue realizado por Mario Bertone del Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico (Bertone 1960). Este inventario incluye un relevamiento de los cuerpos de hielos en la vertiente Argentina de los Andes entre los paralelos 47°30' y 51°S en la Provincia de Santa Cruz. Lamentablemente, dada la pequeña escala utilizada (1:500.000), la carta glaciológica elaborada por Bertone sólo incluye los glaciares de mayores dimensiones, en tanto que los restantes glaciares solamente fueron mencionados en fichas anexas que acompañan dicha carta. El tamaño de los cuerpos de hielo fue estimado a partir de las fotografías aéreas del año 1947, en tanto que la superficie cubierta por glaciares menores fue establecida por apreciación directa de los operadores durante los trabajos de campo relacionados con el inventario (Bertone 1960). Este inventario provee información en relación a la posición geográfica (latitud y longitud), tipo morfológico, alturas aproximadas del frente, límite superior del englazamiento, y superficie estimada de 356 cuerpos de hielo.

En el año 1974, las distintas entidades patrocinantes del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) le encomendaron la realización de un relevamiento de los cuerpos de hielo en los Andes Centrales de Argentina. El Inventario de Glaciares de la Cuenca del Río Mendoza, publicado en 1981, representó la primera contribución al relevamiento de las masas de hielo en esta región (Corte y Espizúa 1981). Un total de 1025 cuerpos de hielo con áreas mayores a los 0.02 km<sup>2</sup> fueron inventariados en base a la fotointerpretación de material aerofotográfico obtenido entre Marzo y Mayo de 1963. En ese año, los glaciares cubrían 647 km<sup>2</sup>, de los cuales 304 km<sup>2</sup> correspondían a hielo

descubierto y 343 km<sup>2</sup> a hielo cubierto por detrito, representando aproximadamente un 10.5% del total del área inventariada en la cuenca del Río Mendoza. Entre fines de la década de 1970 y comienzos de los 80 se relevaron glaciares en otras áreas de la Cordillera Central. El área englazada en la cuenca superior del Río San Juan alcanzaba en 1963 una superficie total de 556,02 km<sup>2</sup> distribuida de la siguiente forma: el Río Castaño tenía 93,24 km<sup>2</sup>, el Río Blanco 286,90 km<sup>2</sup> y el Río de los Patos 175,88 km<sup>2</sup> de glaciares (Aguado, no publicado). Un inventario de glaciares y morenas del sector oriental del Cordón del Plata y del Portillo, en la cuenca del Río Tunuyán, Provincia de Mendoza, arrojó un área englazada de 144 km<sup>2</sup>, de los cuales el 40% corresponde a hielo descubierto y el 60% a hielo cubierto (Espizúa 1982). Por otra parte, los inventarios de las cuencas de los Ríos Atuel y Malargüe (Cobos y Boninsegna 1983) indican que en 1971 la superficie de hielo en dichas cuencas alcanzaba los 186,32 km<sup>2</sup> y 12,34 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Los principales glaciares en el sector argentino del Monte Tronador fueron mapeados a mediados de 1970 por Rabassa y colaboradores (1978a) empleando fotografías aéreas (1970 y 1972) y un detallado trabajo de campo. La superficie ocupada por los glaciares Río Manso, Castaño Overo, Alerce y Frías alcanzaba los 48,65 km<sup>2</sup> en 1976. Rabassa y colaboradores (1978b) también mapearon e inventariaron de forma preliminar los glaciares en el sector argentino de los Andes entre los 39°S y los 42°20'S empleando fotografías aéreas de los años 1970 a 1972. En total se identificaron 235 cuerpos de hielo y nieve con un área superior a 0.01 km<sup>2</sup>, los cuales representan un área total de 139 km<sup>2</sup>. La mayor parte de esta área se concentra en el Volcán Lanín y el Monte Tronador. Sin embargo, estos autores estiman que el total de glaciares inventariados por ellos corresponde tan sólo al 15% del número total de glaciares presentes en la región.

Por su parte, Ahumada y colaboradores (2005) inventariaron los glaciares de escombros activos e inactivos presentes en seis sub-cuencas ubicadas en la vertiente oriental de la Sierra del Aconquija, Provincia de Tucumán. En base a fotografías aéreas se determinó que el área total cubierta por estos cuerpos alcanzaba a 12,12 km<sup>2</sup>, correspondiendo 10,43 km<sup>2</sup> a 134 glaciares de escombros activos y 2,69 km<sup>2</sup> a 36 cuerpos inactivos.

Como se mencionó anteriormente, aún cuando estos trabajos de inventario constituyen un valioso material de base, aún hoy en varios sectores de los Andes hay cuencas de gran importancia hidrológica (como las de los Ríos Diamante y Grande en la Provincia de Mendoza) donde no existe información sobre los cuerpos de hielo presentes. Por otra parte, como la mayoría de estos inventarios regionales han empleado vuelos fotogramétricos de las décadas de 1960 y comienzos de 1970, es posible que algunos de los glaciares más pequeños inventariados casi 50 años atrás ya hayan desaparecido debido al generalizado retroceso de los glaciares en las últimas décadas.

Más recientemente, y gracias a la existencia de imágenes satelitales, Aniya y colaboradores (1996) realizaron un inventario de los mayores glaciares en el Hielo Patagónico Sur. Basados en un mosaico de imágenes Landsat TM del 14 de Enero de 1986, los autores determinaron las áreas totales, de acumulación y de ablación para 48 glaciares localizados en ambas vertientes del Campo de Hielo. El área total de hielo ascendía en 1986 a 11.259 km<sup>2</sup> y se establecía al glaciar chileno Pío XI con 1265 km<sup>2</sup> de extensión como el más grande en América del Sur. Skvarca y De Angelis (2002) actualizaron este trabajo, documentando las fluctuaciones de 39 glaciares en el sector del Hielo Patagónico Sur durante el periodo 1986-2001.

En base a fotografías aéreas e imágenes satelitales IKONOS de alta resolución, Espizua y colaboradores (2007) realizaron un inventario del ambiente glacial y periglacial en las cuencas del Arroyo Turbio, Canito y Potrerillos, afluentes del Río de las Taguas en la Provincia de San Juan. En dicha provincia existe también actualmente un proyecto de inventario de glaciares dirigido por el Dr. Juan Pablo Milana.

Por otro lado, en la Provincia de Mendoza, existen varios inventarios periglaciales parciales o regionales relacionados con diferentes tipos de permafrost y crioformas. Los inventarios resultaron de estudios térmicos, geofísicos y geomorfológicos en diferentes sitios de monitoreos que lidera la Unidad de Geocriología del IANIGLA encargada de las investigaciones de permafrost. En el Cordón del Plata se realizaron inventarios locales (Trombotto 1988, Trombotto et al. 1997) o regionales considerando con más detalle si se trata de glaciares de escombros activos e inactivos, o glaciogénicos (combinados con glaciares descubiertos o cubiertos) y criogénicos (sin relación actual con glaciares). Entre estos últimos inventarios se pueden mencionar los trabajos de Trombotto (2003) y Trombotto y Lenzano (2010) inventariando con detalle 171 crioformas activas. De la misma forma se realizó un inventario de 95 crioformas en la Cordillera del Tigre, Provincia de Mendoza (Castro y Trombotto 2009) y un mapeo de área de permafrost posible de 74 km<sup>2</sup> en el Sur de Mendoza que cubre también zonas englazadas (Trombotto et al. 2009). También se han realizado inventarios regionales de glaciares de escombros entre Chile y Argentina mediante técnicas estadísticas y modelo de distribución (Brenning y Trombotto 2006). El levantamiento geomorfológico de la región de la Laguna del Diamante y el Volcán Maipo incluye glaciares de escombros fue comenzado localmente por Corte (1953) y es continuado por Trombotto y Alonso (2010) con un mayor grado de detalle. En los Andes Patagónicos existen estudios que han considerado a los glaciares de escombros como indicadores para describir la presencia del ambiente periglacial y actualmente se ha comenzado un inventario preliminar (Trombotto 2009).

Más recientemente, Ruiz (2009) y Ruiz et al. (2010), realizaron inventarios de glaciares en el noroeste de la Provincia de Chubut en base a imágenes satelitales y siguiendo las metodologías internacionalmente establecidas. Los resultados parciales indican que tan sólo en las cuencas de Río Tigre, Río Alerce y los arroyos Blanco y Villegas Oeste existía para el año 2007 un superficie cubierta por glaciares de 25.4 km<sup>2</sup>. Por su parte Ruiz et al. (2009) realizaron un mapeo e inventario de geoformas periglaciales en el Cordón Rivadavia, Provincia de Chubut, donde se determinó que las geoformas periglaciales más importantes actualmente corresponden a pequeños lóbulos de protalus de menos de 0,1 km<sup>2</sup> de extensión.

En la provincia de Tierra del Fuego los estudios glaciológicos son desarrollados por un equipo dependiente de la Dirección General de Recursos Hídricos de la Provincia, dirigido por Rodolfo Iturraspe. Este grupo interactúa con la Universidad Nacional de la Patagonia, investigadores del Instituto Antártico Argentino y de universidades extranjeras. En esta región los glaciares son de pequeña magnitud, con menos de 1 km<sup>2</sup> de extensión; no obstante, son numerosos. Sus frentes se sitúan entre 750 y 1000 m s.n.m. La mayoría de estos glaciares son fácilmente accesibles y constituyen un gran atractivo paisajístico. Un inventario preliminar de glaciares realizado en base a imágenes satelitales de febrero de 2002 indica un total de 16.6 km<sup>2</sup> de superficie englazada en esa provincia, y un total de 105 km<sup>2</sup> de glaciares que contribuyen a las cuencas provinciales. La diferencia está dada por los glaciares chilenos que aportan a cuencas binacionales, principalmente la del río Lapataia y del Lago Fagnano (Iturraspe 2010).



A continuación se presenta una tabla donde se resumen los trabajos de inventario de glaciares y crioformas disponibles para el país.

**Tabla 1. Trabajos de inventario de glaciares y geoformas periglaciales en Argentina.**

<b>Región</b>	<b>Area</b>	<b>Glaciares / Amb. periglacial</b>	<b>Referencia</b>
<b>Andes Desérticos</b>	Ríos Juramento y Chalchaquí	Periglacial	<b>Igarzabal 1981</b>
<b>Andes Desérticos</b>	Nevado Tres Cruces, Ojos del Salado	Periglacial	<b>Eydam 2009</b>
<b>Andes Desérticos</b>	Parte oriental del Nevado del Aconquija	Periglacial	<b>Ahumada et al. 2005</b>
<b>Andes Desérticos</b>	Cerro El Potro	Periglacial	<b>Peruca y Esper Angeleri 2009</b>
<b>Andes Desérticos</b>	Valle Los Amarillos, Turbio, Canito y Potrerillos	Glaciares / periglacial	<b>Espizua et al. 2006; Pitte et al. 2010</b>
<b>Andes Desérticos</b>	Cordillera Frontal	Periglacial	<b>Esper Angeleri 2009</b>
<b>Andes Centrales</b>	Río Castaño	Glaciares	<b>Aguado, 1984</b>
<b>Andes Centrales</b>	Río de los Patos	Glaciares	<b>Aguado, 1983</b>
<b>Andes Centrales</b>	Río Blanco, Ansilta y Calingasta	Glaciares	<b>Bottero 2002</b>
<b>Andes Centrales</b>	Provincia de San Juan	Glaciares / periglacial	<b>Milana et al. (en ejecución)</b>
<b>Andes Centrales</b>	Río Mendoza	Glaciares / periglacial	<b>Corte y Espizua 1981</b>
<b>Andes Centrales</b>	Cordón del Plata	Glaciares / periglacial	<b>Novero y Trombotto 2003</b>
<b>Andes Centrales</b>	Cordillera del Tigre	Glaciares / periglacial	<b>Castro y Trombotto 2009</b>
<b>Andes Centrales</b>	Río Tunuyán, sectores Cordón del Plata y Portillo	Glaciares	<b>Espizua y Aguado 1984</b>
<b>Andes Centrales</b>	Río Atuel	Glaciares	<b>Cobos, 1983</b>
<b>Andes Centrales</b>	Río Malargüe	Glaciares	<b>Cobos, 1985</b>
<b>Andes Centrales</b>	Volcán Peteroa	Glaciares/ Periglacial	<b>Trombotto 2010</b>
<b>Andes Centrales</b>	Río Barrancas	Glaciares	<b>Rabassa et al. 1978b</b>
<b>Andes del Norte de la Patagonia</b>	Río Neuquén	Glaciares	<b>Rabassa et al. 1978b</b>

<b>Andes del Norte de la Patagonia</b>	Río Collón Cura	Glaciares	<b>Rabassa et al. 1978b</b>
<b>Andes del Norte de la Patagonia</b>	Río Limay	Glaciares	<b>Rabassa et al. 1978b</b>
<b>Andes del Norte de la Patagonia</b>	Monte Tronador	Glaciares	<b>Rabassa et al. 1978a</b>
<b>Andes del Norte de la Patagonia</b>	Río Manso	Glaciares	<b>Rabassa et al. 1978b</b>
<b>Andes del Norte de la Patagonia</b>	Río Turbio y Tigre	Glaciares	<b>Ruiz 2009; Ruiz et al. 2010</b>
<b>Andes del Sur de la Patagonia</b>	Río Chico	Glaciares	<b>Bertone, 1960</b>
<b>Andes del Sur de la Patagonia</b>	Río Santa Cruz	Glaciares	<b>Bertone, 1960</b>
<b>Andes del Sur de la Patagonia</b>	Río de las Vueltas	Glaciares	<b>Delgado et al. 2010; Masiokas et al. 2010</b>
<b>Andes del Sur de la Patagonia</b>	Glaciares mayores del Hielo Patagónico Sur	Glaciares	<b>Aniya 1996; Skvarca y De Angelis 2002</b>
<b>Tierra del Fuego</b>	Sector suroeste de la provincia	Glaciares	<b>Iturraspe e Iturraspe 2010</b>



Glaciar de cornisa, nacientes Río Tagua, San Juan

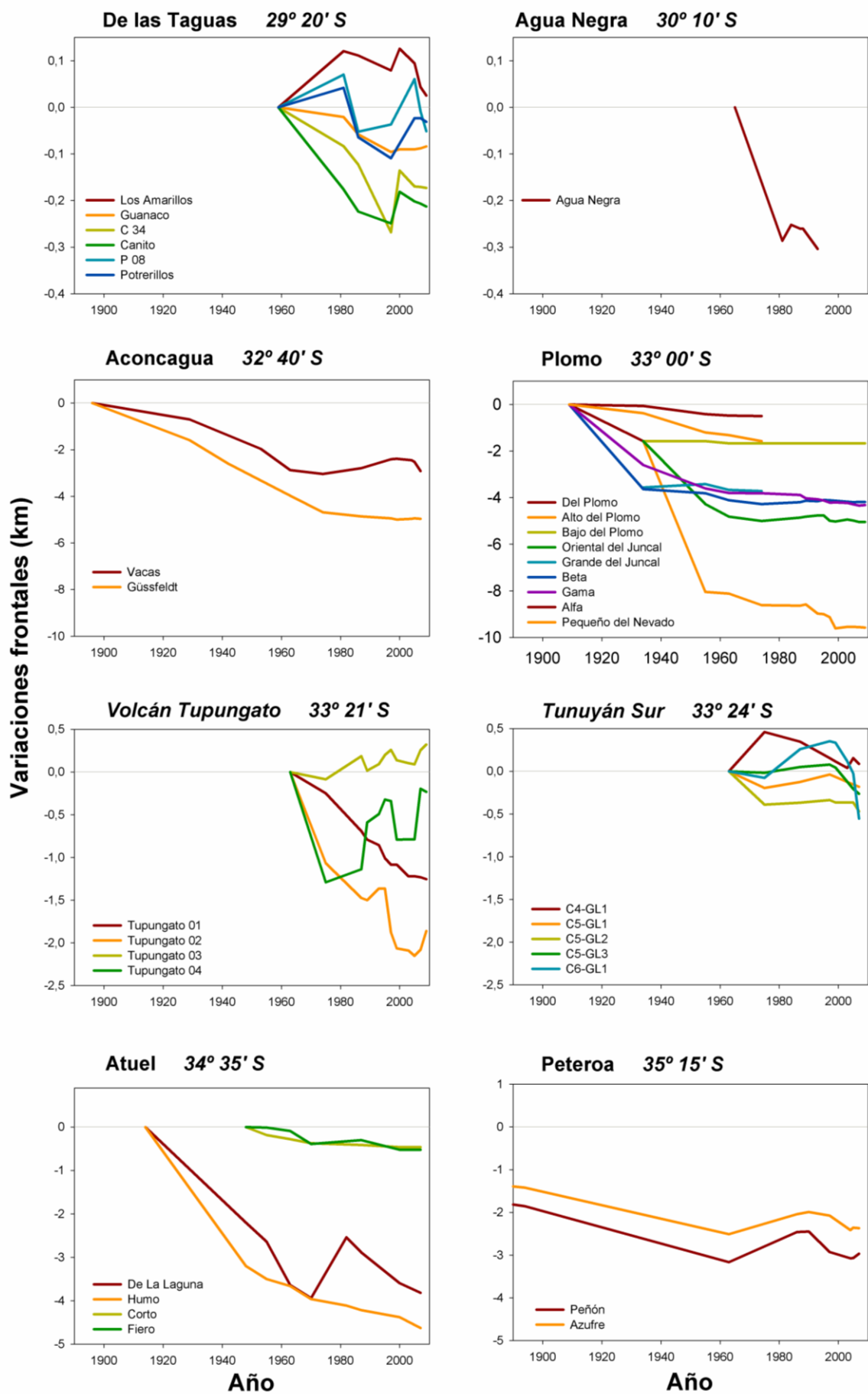
## Estado Actual

### 4. Estado actual de los glaciares y el ambiente periglacial en Argentina

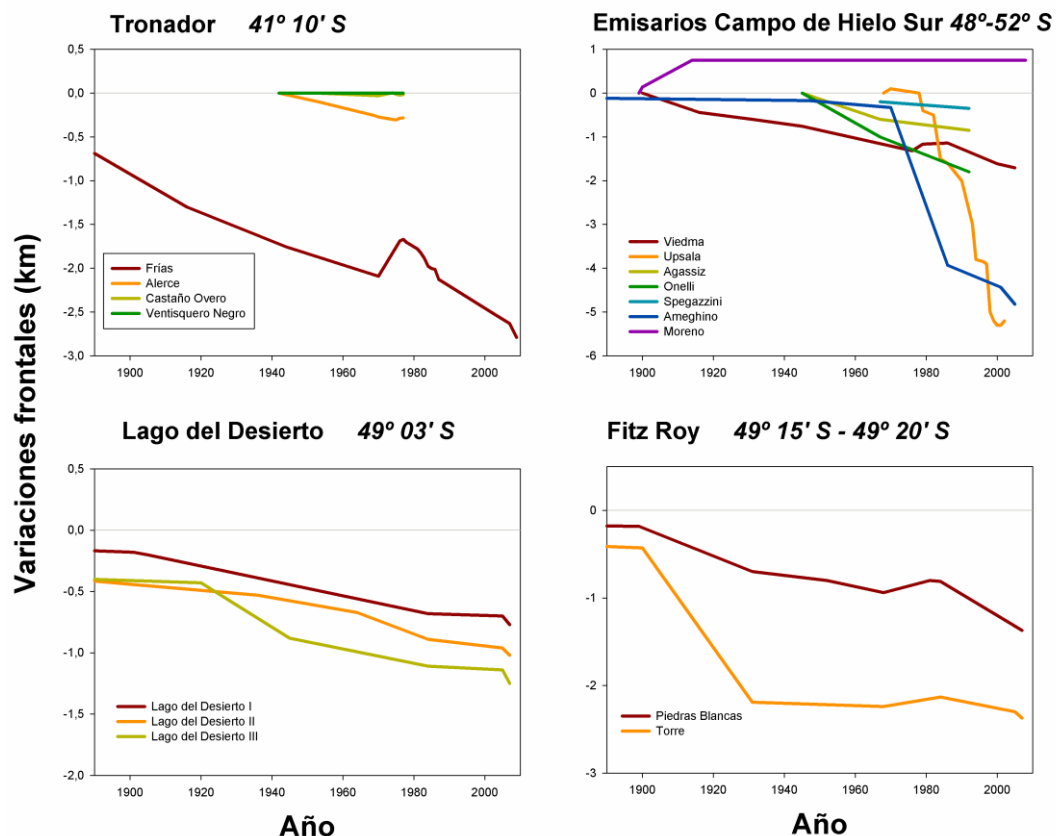
Diversos estudios (por ejemplo, Leiva et al. 2008; Masiokas et al. 2009) indican que la gran mayoría de los glaciares estudiados en los Andes de Argentina han sufrido un franco retroceso durante el último siglo, en sintonía con la situación observada en otras regiones montañosas del planeta. La pérdida de volumen de los glaciares es muy marcada también en la Península Antártica y ha sido documentada en numerosas ocasiones por científicos del Instituto Antártico Argentino (Skvarca y De Angelis 2003; Skvarca y Marinsek 2010). Sin embargo, cabe destacar que dentro de este patrón general de retroceso glaciario, existen diferencias que dependen de la región geográfica donde se encuentren, del tamaño y exposición del glaciar, de la presencia de lagos proglaciales, así como también de las particularidades topográficas de cada sitio.

Estudios recientes de IANIGLA (Masiokas et al. 2009; Espizua 2010) han compilado y cuantificado la reducción reciente de los glaciares en el sector cordillerano de nuestro país. La Figura 2 muestra las fluctuaciones frontales durante los últimos 120 años de distintos glaciares. En la misma puede observarse claramente que, a pesar de ciertas diferencias locales, el retroceso de los glaciares es un fenómeno generalizado en los Andes.

Por otra parte, en la Figura 3 se muestra la retracción en superficie de diversos glaciares durante el período 1984 a 2004 (21 años) en seis aéreas de estudio en los Andes Patagónicos. En promedio, los glaciares han perdido alrededor del 10% de su superficie en este período. Algunos de estos glaciares, como el San Lorenzo Noreste, redujeron más del 20% de su superficie entre 1984 y 2004 (llegando a un 32% de reducción entre 1979 y 2008, Falaschi et al. 2010), mientras que otros como el Glaciar Laguna del Desierto I, perdieron durante el mismo intervalo menos del 5% de su superficie. Es importante destacar que estos cambios sólo dan una idea de la reducción del área de los cuerpos de hielo y no tienen en cuenta las pérdidas en volumen de hielo de los glaciares debido al adelgazamiento vertical de sus lenguas.





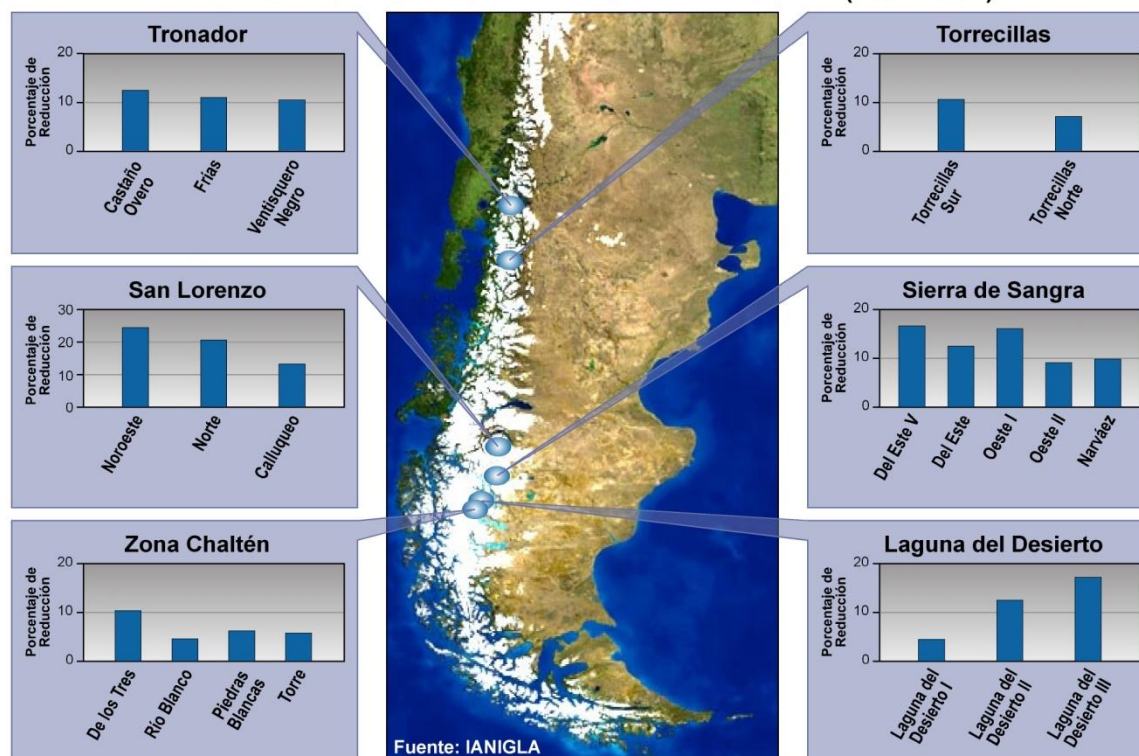


**Figura 2.** Variaciones durante los últimos 120 años del frente de glaciares argentinos estudiados a lo largo de la Cordillera de los Andes. Modificado de Espizua 2010.

En la cuenca del Río Mendoza uno de los sistemas de glaciares más importantes es el del Río Plomo. El estado de los glaciares de esta subcuenca en 1914 se conoce por un detallado estudio de Helbling (1919). Este trabajo ha servido para determinar la reducción areal y volumétrica de los glaciares comparando los mapas de Helbling con el obtenido por restitución fotogramétrica de fotografías aéreas de 1974 (Espizua 1986; Leiva 1989). Su evolución a partir de 1974 ha sido determinada mediante el análisis de imágenes satelitales (Llorens y Leiva 1995; Leiva 2006). En la cuenca del Río Cuevas, afluente del Río Mendoza, se han estudiado las fluctuaciones de los glaciares del Cerro Aconcagua (Espizua y Maldonado 2007, Espizua y Pitte 2009), y se observa el mismo comportamiento de retroceso de frentes y pérdida de masa de los glaciares. Existen sin embargo excepciones a esta tendencia general, ya que hay glaciares que han producido fenómenos de avance extraordinario por cortos periodos de tiempo (“surges”). Entre estos casos se encuentra el Glaciar Horcones Inferior (Río Cuevas) y el Glaciar Grande del Nevado del Plomo (Río Plomo) (Espizua et al 2008, Espizua et al. 1990, Unger y Espizua 2000). Sin embargo, estos avances son episódicos y no fácilmente relacionados con cambios climáticos regionales.

En las nacientes del Río Cuevas se ha determinado el balance de masa anual del Glaciar Piloto desde 1979 (Leiva 2007). Este registro es el más extenso del país. Datos actualizados revelan que el balance de masa acumulado 1979-2009 de este pequeño glaciar perdió más de 15 m de equivalente en agua (Leiva 2010) y se halla en un proceso que lo transformará en un glaciar cubierto en los próximos años y luego, de continuar esta tendencia climática, en un glaciar de escombros.

### FLUCTUACIONES DE GLACIARES EN PATAGONIA (1984-2004)



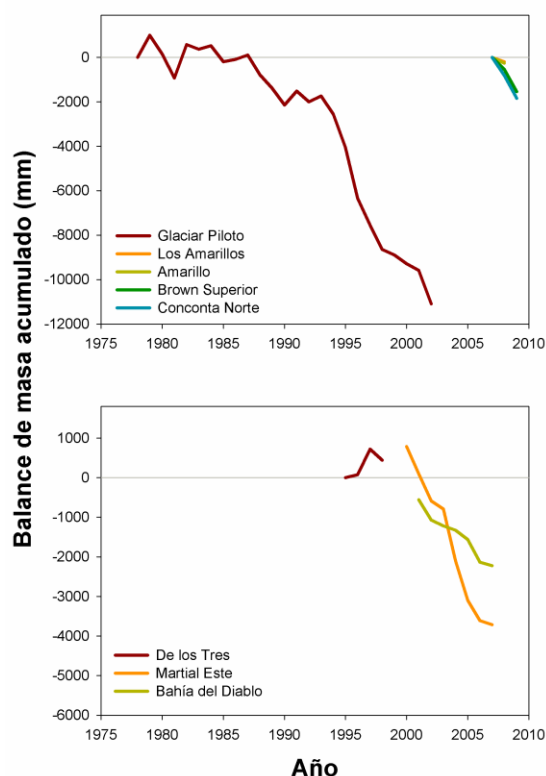
**Figura 3.** Porcentaje de reducción en área entre 1984 y 2004 observado a partir de imágenes satelitales en glaciares seleccionados de los Andes Patagónicos (Silvia Delgado, IANIGLA).

En base a estudios actualmente en curso, Ruiz et al. (2010) han descubierto que para un pequeño campo de Hielo ubicado en el límite con Chile en el noroeste de la Provincia del Chubut, la pérdida de área total ha sido de casi un 10%, entre los años 1987 y 2007. En términos relativos (porcentaje del área total perdida), las mayores variaciones se observan en los cuerpos más pequeños. Sin embargo, son los glaciares más extensos los que han perdido la mayor superficie de hielo.

En el sur de la Patagonia los estudios glaciológicos se han focalizado históricamente en los grandes glaciares de descarga del Hielo Patagónico Sur. Los estudios han sido realizados por científicos argentinos y extranjeros, y en general muestran una tendencia negativa para la mayoría de los glaciares, con algunas excepciones notables como el caso del Glaciar Perito Moreno que se ha mantenido relativamente estable, con avances esporádicos, desde 1917 (Skvarca 2010).

Los estudios de campo en la Provincia de Tierra del Fuego son realizados en base a glaciares piloto en los que se realiza desde hace años un monitoreo sistemático consistente en balance de masa, incluyendo mediciones climáticas en el ambiente glaciario, relevamientos topográficos, comportamiento hidrológico de estos glaciares y estimación de contribuciones al escurrimiento. Los glaciares estudiados en mayor detalle son el Glaciar Martial y el Glaciar Vinciguerra, ambos próximos a la ciudad de Ushuaia. El último, junto con un conjunto importante de turberas del valle de Andorra conforma un grupo de humedales que constituyen el nuevo sitio RAMSAR más austral del mundo, declarado en 2009. Desde 2008 se monitorea también el cuerpo central del Glaciar Martial y el Glaciar Alvear. Los resultados indican un fuerte comportamiento recesivo de todos los glaciares, manifestado desde comienzos del siglo XX. El Glaciar Martial Este, uno de los cuerpos situados en el circo de los montes Martial,

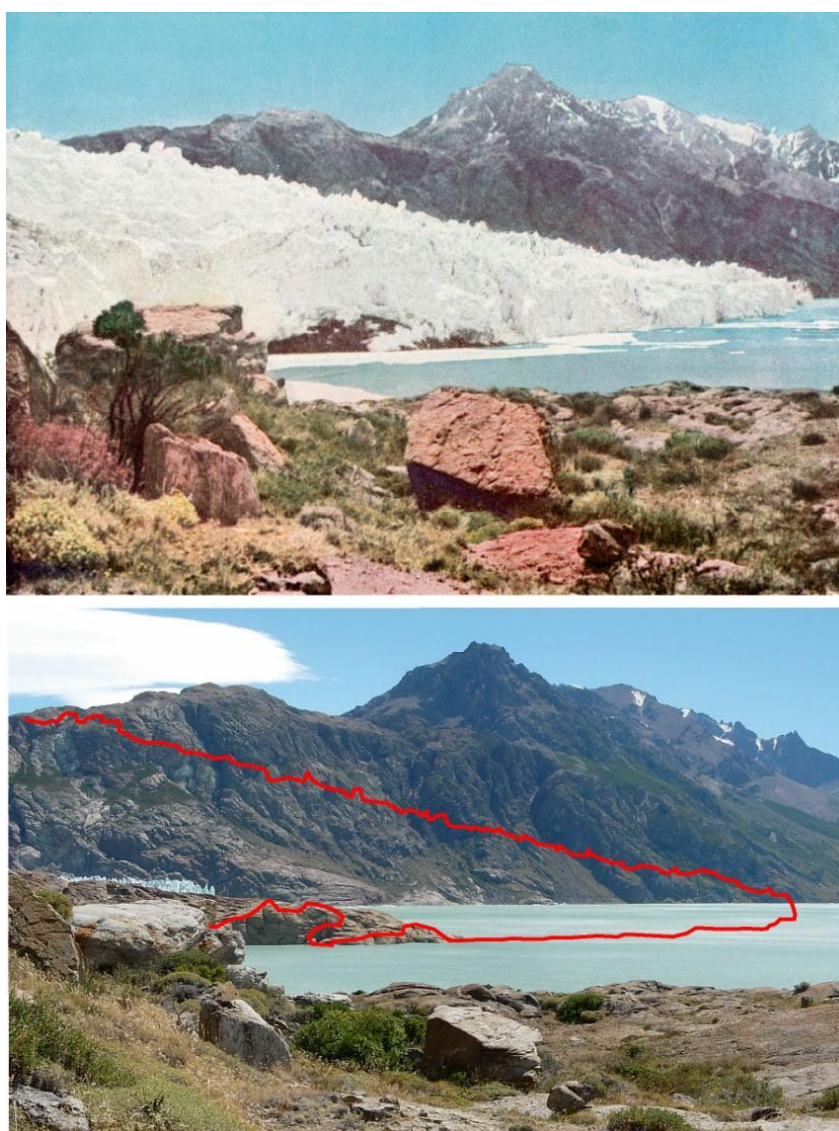
pierde en promedio medio metro de espesor de hielo por año, mientras que en el Vinciguerra el déficit es el doble de esa magnitud, debido a que presenta una zona de ablación más extendida, con un frente situado 200 m más abajo que el del Martial. El retroceso del frente de este glaciar ha sido de 11,5 m/año entre 1970 y 2002 y de 19,5 m/año entre 2002 y 2008 (Iturraspe e Iturraspe 2010).



**Figura 4.** Balances de masa acumulados para glaciares argentinos (modificado de Espizua 2010). El Glaciar Piloto se encuentra en la Provincia de Mendoza, mientras que los glaciares Los Amarillos, Amarillo, Brown Superior y Conconta Norte están en la Provincia de San Juan (Leiva et al. 2007; Leiva 1999; Cabrera et al. 2008, 2009). El Glaciar de los Tres es un pequeño cuerpo de hielo adyacente al Cerro Fitz Roy (Popovnin et al. 1999). El Martial Este se encuentra en Tierra del Fuego, mientras que el Glaciar Bahía del Diablo está siendo monitoreado por el glaciólogo Pedro Skvarca del Instituto Antártico Argentino y es el único glaciar con información de balance de masa en la Península Antártica (GMBB: 2003, 2005, 2007, 2009; Büttstadt et al. 2009; Strelin et al. 2007; Skvarca et al. 2004). Notar el muy escaso número de sitios con datos de balances de masa en el país.

Con respecto al ambiente periglacial, los glaciares de escombros activos de los Andes Centrales han sido estudiados en detalle a partir de 1973 con la creación del IANIGLA en la ciudad de Mendoza (Corte, 1976, 1978; Buk, 1983), y diferentes sitios son monitoreados activamente desde la década de los '80 por la Unidad de Geocriología para investigar permafrost in situ y reptante. El estado actual de los sistemas criogenicos también se viene estudiando principalmente en los Andes Centrales mediante el monitoreo de la capa activa y el permafrost de los glaciares de escombros utilizando análisis térmicos de perforaciones y diferentes métodos geofísicos. Los principales sitios son: Lagunita del Plata, en el Cordón del Plata, que incluye mediciones de velocidades de procesos, como solifluxión (Trombotto, 1983, 1984, 1988, 1991); el glaciar de escombros de Morenas Coloradas, con datos de monitoreo desde 1989 en adelante (Trombotto et al. 1997, 1999; Trombotto 2007, Trombotto y Borzotta 2009); y la Laguna del Diamante (Corte 1953; Trombotto y Alonso 2010) y Volcán Peteroa (Trombotto et al. 2009). Nuevos lugares de monitoreo de la Unidad con otros grupos de investigación han sido comenzados en el sur de la provincia de San Juan (Arenson et al. 2010). En 1999, el Cordón del Plata fue propuesto como reserva provincial de montaña para proteger permafrost, glaciares, flora y fauna de tundra andina (Trombotto 1999). Desde el año 2000, la Unidad de Geocriología del IANIGLA lleva a cabo el monitoreo de la capa activa del glaciar de escombros de Morenas Coloradas, para la red del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC). A partir del 2008, se comenzó un monitoreo de temperatura del aire y subsuperficial en la zona cordillerana del noreste de Chubut con el objetivo de conocer si es posible la presencia de permafrost de montaña en esas latitudes.

Con respecto a la hidrología periglacial, en la provincia de Mendoza, se detectó una relación importante entre los caudales de cuencas periglaciales, ocupadas fundamentalmente por glaciares de escombros, y las curvas de temperaturas del aire y del suelo. Esta relación indica que se puede prever el comportamiento de los caudales siguiendo la marcha de las temperaturas del aire y del suelo, a la vez que también es posible hacer proyecciones a futuro (Trombotto et al. 1999; Buk 2002).



**Figura 5.** Comparación fotográfica mostrando los cambios en la extensión del frente del glaciar Viedma en 1930 (De Agostini, 1945) y en 2008 (IANIGLA).





Glaciares y agujas próximas al Cerro Torre

## Definiciones

### 5. Definiciones a los fines del Inventario Nacional

Los glaciares y crioformas que actúan como reservas hídricas a lo largo de la Cordillera de los Andes tienen diversas características, dimensiones y formas, que los hacen únicos y permiten su reconocimiento a partir de imágenes satelitales. Por ejemplo, podemos encontrar a grandes glaciares descubiertos o de “hielo limpio” como el Glaciar Perito Moreno en el Parque Nacional Los Glaciares, y también a glaciares cubiertos parcial o totalmente por detritos como el Ventisquero Negro en la zona del Monte Tronador, Parque Nacional Nahuel Huapi. Dentro del ambiente periglacial, existen diferentes geoformas, pero debido a su contenido de hielo, tamaño y morfología los más importantes y representativos son los glaciares de escombros. A los fines específicos y operativos del Inventario Nacional de Glaciares, IANIGLA propone definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos a inventariar dentro del ambiente glacial y periglacial de Argentina. El objetivo de estas definiciones es aclarar las características básicas de los diferentes cuerpos a reconocer en las imágenes satelitales y los procesos que las originan, para que puedan ser identificados y reconocidos por los operadores sin lugar a ambigüedades.

En el territorio de la República Argentina podemos agrupar a **las reservas hídricas estratégicas** en estado sólido en dos grandes grupos: glaciares (descubiertos y cubiertos) y glaciares de escombros. Estos grandes grupos contienen, tanto en volumen como en superficie cubierta, las mayores reservas hídricas en estado sólido de la cordillera. Además, debido a sus características físicas, pueden ser identificados y delimitados fácilmente.

Si bien las definiciones que aquí se presentan son más amplias que otras utilizadas para estudios específicos, por un lado concuerdan con los lineamientos generales dados por el WGMS (World Glacier Monitoring Service) y el IPA (International Permafrost Association), y además cumplen con la característica principal que debe tener un cuerpo de hielo para ser incluido en el Inventario, su condición de reserva de agua en estado sólido. Es respetando estos dos conceptos que se proponen las siguientes definiciones:

**Glaciar (descubierto y cubierto):** *cuerpo de hielo permanente generado sobre suelo a partir de la recrystalización de la nieve y/o hielo debido a la compactación de su propio peso, sin o con cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ogivas, morenas medias) o no (\*) y de un*

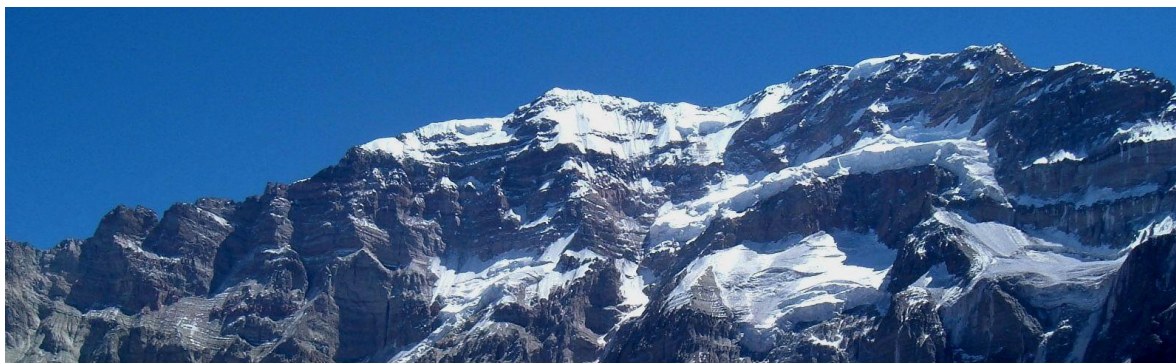
*área mayor o igual que 0,01 km<sup>2</sup> (una hectárea). Los glaciares pueden tener diferentes morfologías (ver Anexo 1).*

*(\*): Dentro de esta definición de glaciar se incluyen a los manchones o campos de nieve permanentes que como no tienen evidencia de movimiento, en general no se consideran glaciares. Sin embargo, los manchones o campos de nieve permanentes son reservas significativas de agua en estado sólido.*

**Glaciar de escombros:** *cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km<sup>2</sup> (una hectárea). Los glaciares de escombros pueden tener diferentes morfologías (ver Anexo 1).*

En el ambiente periglacial existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo, son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica (Corte, 1976; Schrott, 1996; Azocar y Brenning, 2010). Es precisamente el alto contenido de hielo el que favorece su desplazamiento pendiente abajo (Haeberli, 1985; Barsch, 1996). Este movimiento es el que genera los rasgos característicos superficiales (crestas y surcos, crestas laterales o “*Haldenshutt*”) que permiten identificar a los glaciares de escombros en las imágenes satelitales (Haeberli, 1985; Trombotto, 1991; Barsch, 1996; Ikeda y Matsuoka, 2002). Por otra parte es importante aclarar que la distribución de hielo dentro de los glaciares de escombros no es homogénea, ya que existen variaciones tanto horizontales como verticales, de ahí la importancia de identificar la totalidad del cuerpo (Barsch, 1996; Gruber y Haeberli, 2009; Otto et al., 2010).

En el Anexo 1 se adjuntan una serie de definiciones complementarias sobre todo relacionadas a conceptos glaciológicos y geocriológicos básicos.



Aconcagua, Pared Sur, Mendoza

## Organización geográfica

### 6. Organización geográfica del Inventario Nacional de Glaciares

En toda su extensión a lo largo de nuestro país, la Cordillera de los Andes abarca ambientes muy diversos. En los Andes Desérticos las condiciones netamente subtropicales y con precipitaciones predominantemente del Atlántico, mientras que en los Andes Centrales los glaciares y crioformas se nutren de precipitaciones principalmente del Pacífico. Los Andes del norte de la Patagonia se caracterizan por condiciones más templadas y precipitaciones predominantemente invernales y del Pacífico, mientras que los Andes Patagónicos del Sur poseen condiciones subantárticas con precipitaciones muy abundantes y distribuidas a lo largo de todo el año.

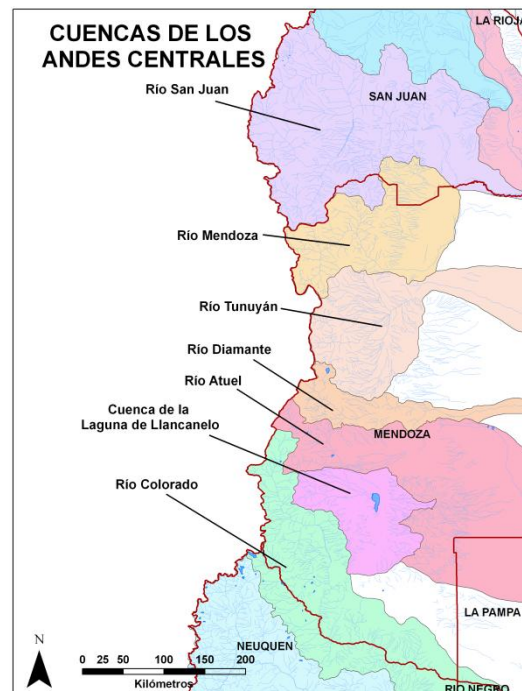
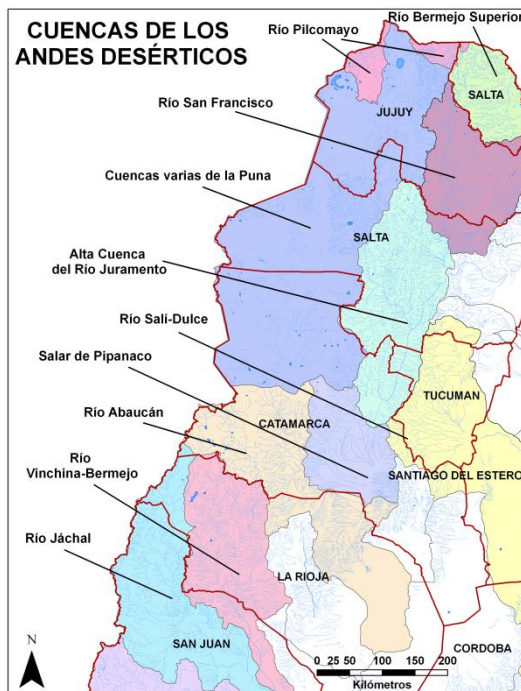
Los ambientes andinos están caracterizados por relieves abruptos con cuerpos de hielo de diversas formas y muy variadas características ubicados en elevaciones superiores a los 4000 m en los Andes Desérticos y Centrales que disminuyen hasta cotas próximas a los 200-1000 m en los sectores más australes de la Cordillera. Los glaciares de escombros son los únicos cuerpos congelados activos en la región del Aconquija, Provincia de Tucumán, y dominan el paisaje altoandino de las provincias de San Juan y Mendoza. Los glaciares cubiertos parcial o totalmente por detritos son muy comunes en los Andes Centrales, mientras que los glaciares descubiertos (libres de detritos) pueden encontrarse sobre todo en los Andes Patagónicos donde las abundantes precipitaciones permiten la existencia de extensos cuerpos de hielo como el Hielo Patagónico Sur en la Provincia de Santa Cruz.

Debido a la extensión del área a inventariar, y a la gran diversidad de ambientes existentes a lo largo de la Cordillera de los Andes, el IANIGLA propone organizar el Inventario Nacional de Glaciares en grandes regiones que agrupen cuerpos de hielo con características morfológicas y medioambientales relativamente similares. Además de facilitar la compilación de información y publicación de resultados, esta división por regiones permitirá una mejor y más efectiva coordinación y organización del personal involucrado en las tareas de inventario en las distintas provincias afectadas.

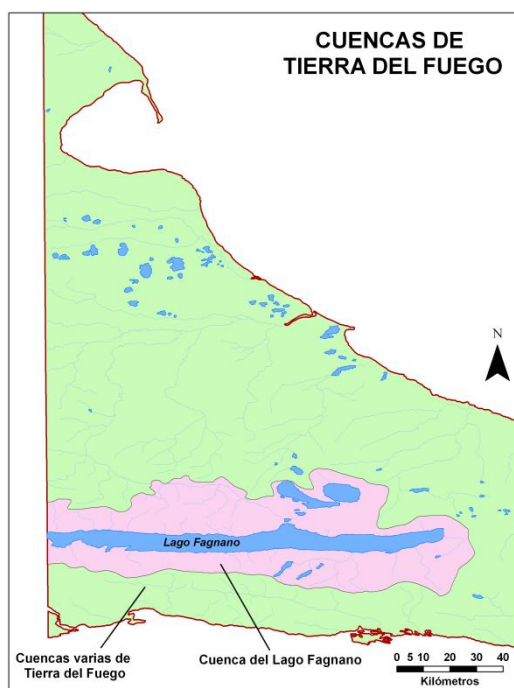
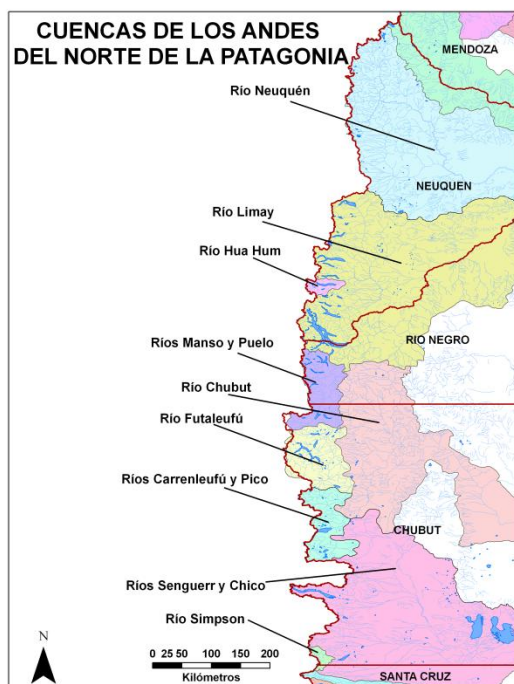
Las regiones propuestas son:

1. **Andes Desérticos.** Incluye todo el Noroeste Argentino y el sector norte de la Provincia de San Juan, incorporando la cuenca del Río Jáchal.
2. **Andes Centrales.** Incluye desde la cuenca del Río San Juan en la provincia del mismo nombre, hasta la cuenca del Río Colorado en el norte de la Provincia de Neuquén.
3. **Andes del Norte de la Patagonia.** Incluye desde la cuenca del Río Neuquén hasta las cuencas de los Ríos Simpson, Senguerr y Chico en la Provincia de Santa Cruz.
4. **Andes del Sur de la Patagonia.** Incluye las cuencas del Río Deseado y los Lagos Buenos Aires y Pueyrredón, hasta las cuencas de los Ríos Gallegos y Chico en la Provincia de Santa Cruz.
5. **Andes de Tierra del Fuego e islas del Atlántico Sur.**

Los siguientes mapas muestran las principales cuencas hídricas seleccionadas para cada una de las regiones del país. Dentro de estas regiones y cuencas principales, los trabajos de inventario se focalizarán en subcuencas hídricas que posean aporte de cuerpos de hielo permanentes. Un listado preliminar de las subcuencas a analizar en cada región se presenta en el Anexo 2.







**Figura 6.** Cuencas principales a lo largo de los Andes sobre las que se identificaron subcuencas con conocido o probable aporte de cuerpos de hielo para las tareas de inventario (ver Anexo 2).



Campos de penitentes, Aconcagua, Mendoza

## Estrategia de monitoreo

### 7. Estrategia de monitoreo jerárquico

Con el objetivo de superar las limitaciones existentes en el conocimiento glaciológico y geocriológico del país en su conjunto, se propone la implementación de una *estrategia de observación jerárquica* de todos los glaciares y crioformas del país. Dicha estrategia se basa en la experiencia y recomendaciones del World Glacier Monitoring Service (WGMS), organismo encargado de administrar el inventario mundial de glaciares utilizando técnicas de observación aplicables a cualquier región del mundo y aprovechando las últimas tecnologías disponibles. La estrategia propuesta consiste en la aplicación de tres sistemas escalonados de estudio o “niveles”, los que varían en complejidad y extensión espacial pasando desde las fases sencillas de monitoreo con relativamente poco detalle, pero abarcando la totalidad de los cuerpos de hielo del país, hasta estudios locales focalizados en pocos glaciares y crioformas que son analizados en gran detalle.

La fundamentación y explicación de esta estrategia de observación jerárquica pueden encontrarse en Haeberli et al. (2000, 2002) y en Casassa et al. (2007). Cabe destacar que la comunidad científica glaciológica y de manejo de recursos hídricos de Chile recientemente ha presentado una propuesta similar para el monitoreo de los glaciares del vecino país (pero utilizando cinco niveles de estudio, llegando a un grado de complejidad superior al aquí propuesto; ver CECS 2009). Es por ello que sería doblemente provechoso poder aplicar un sistema equivalente de observación por “niveles” que permitiría conocer los cuerpos de hielo de nuestro país y a la vez compararlos con las observaciones realizadas por los colegas trasandinos a lo largo de la Cordillera de los Andes.

Para dar una visión general de los niveles propuestos por IANIGLA para la realización del Inventario Nacional de Glaciares, podríamos caracterizarlos utilizando preguntas clave que deberán ser resueltas en cada nivel de estudio (Tabla 2). Así, por ejemplo, completando las tareas requeridas en el Nivel 1 de observación jerárquica podremos conocer cuántos glaciares y crioformas hay en el país, qué superficie ocupan actualmente, y algunos datos básicos adicionales (ver Tabla 3) sobre la totalidad de los cuerpos de hielo de Argentina. Sin embargo, si bien este nivel de detalle mínimo proveerá una idea general del área total cubierta con reservas hídricas en estado sólido, esta información no es suficiente para conocer cuál es la

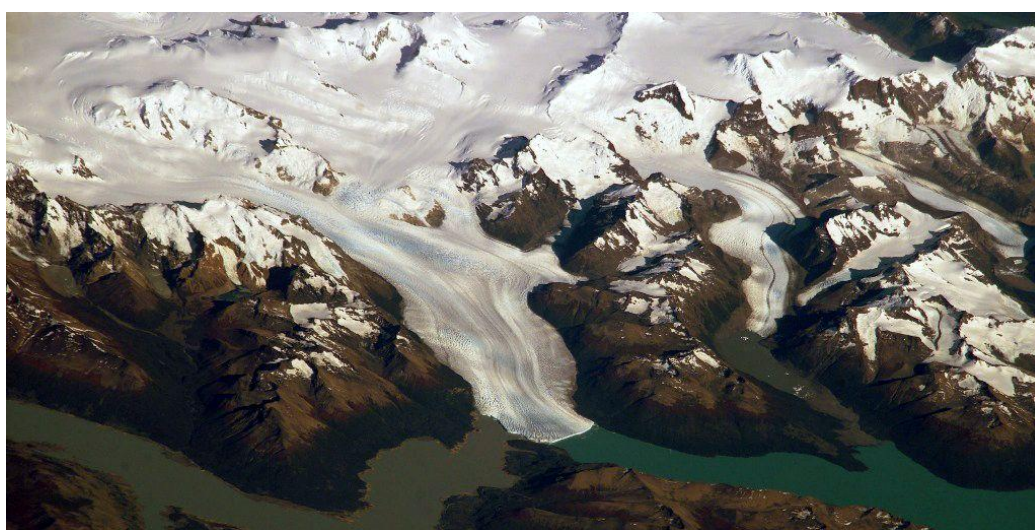
situación de los glaciares y crioformas en las distintas zonas, cuál es su significancia hidrológica real, ni cómo responden o responderán ante variaciones de distintos elementos atmosféricos (temperatura, precipitación). Por ello consideramos fundamental complementar los análisis del Nivel 1 con estudios de mayor complejidad (aplicados a un número reducido de cuerpos de hielo) que permitan conocer en mayor detalle el funcionamiento del sistema criogénico y de esta forma dar respuesta realmente a los muchos interrogantes que aún quedan sobre nuestros cuerpos de hielo en la Cordillera.

**Tabla 2. Grado de complejidad y tipo de estudios propuestos en los distintos niveles de monitoreo jerárquico de los glaciares y crioformas de Argentina.**

Nivel	Grado de detalle	Pregunta clave a responder	Número de cuerpos en estudio	Tipo de estudios	Métodos
1	Bajo	¿Cuántos glaciares y crioformas hay en Argentina y que superficie tienen?	Todos los glaciares y crioformas del país	Recuento, determinación de área, y parámetros morfométricos de los distintos cuerpos.	Generación de modelos digitales de elevación, Determinación de cuencas, Identificación y mapeo en base a imágenes satelitales. Control de campo.
2	Medio	¿Cómo ha variado el tamaño y la dinámica de los glaciares y crioformas en los últimos años?	Idealmente uno o dos cuerpos por cuenca	Fluctuaciones de área, largo, y velocidad de desplazamiento en años/décadas recientes.	Análisis multi-temporal de fotografías aéreas e imágenes satelitales, Consulta de fuentes históricas, complementado con tareas de campo.
3	Alto	¿Qué parámetros físicos rigen el comportamiento de los glaciares y las crioformas en las distintas regiones del país? ¿Qué volumen de agua contienen los cuerpos estudiados y cómo es la topografía bajo ellos? ¿Cuál es su aporte a la escorrentía de los ríos? ¿Cómo reaccionan frente a las condiciones meteorológicas actuales y cómo lo harían frente a los escenarios climáticos futuros?	Un glaciar y/o crioforma representativa por región	Combinación de balances de masa, de energía e hidrológico, topografía superficial de precisión, monitoreo de capa activa, espesor y volumen estimado del hielo, estructura interna de los cuerpos, velocidad y reología, modelación hidrológica y de dinámica de los glaciares y crioformas frente a escenarios de cambio climático.	Red de balizas y pozos estratigráficos, Instalación de estaciones nivo-meteorológicas y fluviométricas, Levantamientos topográficos con GPS geodésico, Fotogrametría terrestre y aérea, Determinaciones de espesor con radar de penetración terrestre.

Entre otras cosas, este sistema de observación jerárquica cumple con una serie de requerimientos muy importantes que la hacen altamente recomendable:

1. Empleo de técnicas tradicionales que han sido exitosas en nuestro país u otras regiones en combinación con técnicas modernas sofisticadas (por ejemplo combinando observaciones de campo con técnicas de percepción remota),
2. Sistema escalonado e integrado de estudios desglosados en “niveles” donde en su conjunto se tendrá un volumen grande de glaciares y crioformas que se estudiarán con baja intensidad, y un grupo pequeño de cuerpos que se estudiarán con gran detalle,
3. Una vez definidos los glaciares y crioformas representativos en cada región, será posible tener una visión glaciológica y geocriológica general del país sin necesidad de monitorear todos los cuerpos de hielo de Argentina al mismo nivel de detalle,
4. Los estudios ofrecen la posibilidad de analizar las relaciones entre procesos criogénicos y ambientales locales con situaciones regionales, hemisféricas y/o globales para su integración en estudios y programas de monitoreo de glaciares y zonas con permafrost a nivel mundial.



**Figura 7.** Vista aérea del Glaciar Moreno (izquierda) y del Glaciar Ameghino (derecha) en el sector Brazo Sur- Canal de los Témpanos, Lago Argentino, Santa Cruz





Cerros Torre y Fitz Roy, Santa Cruz

## Personal

### 8. Organización del personal

Para la realización del Inventario Nacional de Glaciares, el IANIGLA propone un sistema de organización de personal que permita una fluida y productiva relación entre los profesionales encargados de realizar los mapeos, los especialistas encargados de dirigir y revisar las tareas, y los encargados de coordinar las tareas dentro y entre las distintas regiones del país. La estructura propuesta respondería a la de los organismos internacionales de investigación y generación de información en el ámbito de las Naciones Unidas tales como el Panel Intergubernamental para el Estudio del Cambio Climático (IPCC). El sistema propuesto consta de los siguientes niveles de organización del personal:

**Nivel A: Profesional de Inventario.** Encargado de realizar las tareas de procesamiento de imágenes, identificación y mapeos de cuerpos de hielo, extracción de parámetros glaciológicos básicos, y control de campo. Idealmente, este personal profesional provendría del sector de Ciencia y Técnica nacional (CONICET, MinCyT) y de otras instituciones provinciales o nacionales interesadas en la realización del inventario en las distintas regiones del país. La formación en técnicas glaciológicas y geocriológicas de este grupo de personas será sumamente importante para la continuación de los estudios en el futuro y para mejorar sustancialmente la cantidad y preparación de individuos dedicados al estudio de la criósfera en el país. A modo de ejemplo cabe destacar que a través de un Convenio específico entre CONICET y el Gobierno de la Provincia de Mendoza, se ha establecido que la provincia aportará los recursos económicos para contratar dos operadores expertos para la ejecución del Inventario de Glaciares en la Provincia de Mendoza. Si bien IANIGLA, a través de CONICET, ha comenzado las tratativas para establecer convenios similares con otras provincias, es importante aclarar que será absolutamente necesario contar con profesionales estables para la ejecución del Inventario Nacional. Dichos profesionales realizarán las tareas descriptas sobre todo en aquellas provincias que no contribuyan con recursos humanos a la ejecución del Inventario. La información generada por este grupo de profesionales será fundamental, entre otras cosas, para los trabajos de investigación del IANIGLA y otras instituciones nacionales o provinciales, por lo que la figura del personal solicitado se asimila fácilmente a la de Profesional de Apoyo de CONICET. A través de un proceso de incorporación gradual durante los tres primeros años del Inventario se espera incorporar seis profesionales en esta categoría.



**Nivel B: Director Técnico de Inventario.** Encargado de supervisar y dirigir las tareas realizadas por los Profesionales de Inventario y responsable técnico final del Inventario. Podrán ser Directores de Inventario los especialistas de IANIGLA u otras instituciones científicas nacionales o provinciales con amplia experiencia de campo y del manejo de las técnicas de inventario de glaciares, y que se encuentren trabajando en las distintas zonas glaciológicas del país.

**Nivel C: Revisor de Inventario.** Especialista encargado de la revisión crítica de los informes elaborados por los directores técnicos en colaboración con los profesionales del Inventario. Deberá realizar un análisis cuidadoso y detallado del mapeo y caracterización de los cuerpos de hielo en subcuencas asignadas, proponer correcciones o modificaciones, y una vez completadas las mismas, dar el aval a las tareas de inventario realizadas por el personal de los Niveles A y B. Las tareas de inventario en una subcuenca determinada no se considerarán finalizadas sin el aval del Revisor de Inventario. Estos Revisores serán investigadores nacionales y/o científicos extranjeros reconocidos internacionalmente e invitados especialmente por su experiencia y trayectoria en estudios de inventario de glaciares y geoformas periglaciales.

**Nivel D: Coordinador de Inventario.** Encargado de coordinar, facilitar y controlar las tareas administrativas, logísticas y financieras concernientes al proyecto de inventario de glaciares. Tendrá atribuciones de “Gerente” y servirá de nexo y control de las tareas realizadas por el personal de los Niveles A, B y C dentro y entre las distintas regiones del país. Es responsable de la ejecución en tiempo y forma del Inventario de acuerdo al Cronograma de Actividades propuestas.

**Nivel E: Director General del Inventario.** Autoridad superior del proyecto de Inventario, encargado de controlar y administrar las tareas, negociar aspectos económicos y/o de funcionamiento general ante las autoridades de aplicación y competentes establecidas por la Ley 26.639. El Director General del Inventario será el Director del IANIGLA que es la entidad responsable de su ejecución por Ley 26.639.

### **8.1. Listado de instituciones nacionales y provinciales que podrían colaborar en la elaboración del Inventario de Glaciares en cada región de estudio**

La lista es tentativa, preliminar y podría ampliarse en base a las necesidades regionales o el interés de distintos grupos de trabajo.

1. **Andes Desérticos:** Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Universidad Nacional de Jujuy, IANIGLA, Universidad Nacional de San Juan. Hidráulica de San Juan.
2. **Andes Centrales:** IANIGLA, Universidad Nacional de San Juan. Departamento General de Irrigación, Provincia de Mendoza. Hidráulica de San Juan.
3. **Andes del Norte de la Patagonia:** IANIGLA, Recursos Hídricos de Neuquén, Ambiente de Río Negro, Hidráulica de Chubut, CADIC.
4. **Andes del Sur de la Patagonia:** IANIGLA, SIT Santa Cruz, Ambiente de la Provincia de Santa Cruz, Instituto Antártico Argentino.
5. **Andes de Tierra del Fuego e islas del Atlántico Sur:** CADIC, Dirección de Recursos Hídricos de Tierra del Fuego, Instituto Antártico Argentino.



Glaciar Horcones Superior, Plaza de Mulas, Aconcagua, Mendoza

## Métodos

### 9. Métodos

A continuación se describen los métodos a utilizar en los tres niveles propuestos para la realización del Inventario Nacional de Glaciares. Durante la etapa de reglamentación esta breve descripción será completada con un protocolo detallado en donde se indicaran los métodos, software y las diferentes herramientas que se proponen para el inventario. El protocolo permitirá que el inventario pueda ser realizado por diferentes operadores pero que sea homogéneo y comparable a lo largo de todo el territorio. Los métodos a utilizar abarcan desde el uso de técnicas de percepción remota para los estudios más generales, hasta la instrumentación y mediciones puntuales periódicas para los estudios de mayor detalle en sitios cuidadosamente seleccionados.

#### **9.1. NIVEL 1 – *Identificación, mapeo y caracterización de los glaciares y geoformas periglaciales que actúan como reservas hídricas en el territorio nacional***

##### **9.1.1. Información registrada**

La ejecución del Nivel 1 dentro del programa del Inventario Nacional de Glaciares implica numerosas actividades de coordinación entre las instituciones participantes (IANIGLA, Secretaría de Ambiente de la Nación, Universidades, otros organismos nacionales y provinciales de investigación y planeamiento) y el empleo de metodologías que brinden un producto final de buena calidad, homogéneo a lo largo de su dominio territorial y de fácil acceso a todos los interesados en esta información. Siguiendo las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS 1967 y posteriores, UNESCO-IAHS 1970, Muller 1977) y su programa World Glacier Inventory (WGI), el Programa Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS; Racoviteanu et al. 2009), y directivas empleadas en inventarios previos (Aguado 1982, Bertone 1960, Cobos 1985, Corte y Espizua 1981, Delgado et al. 2010, Espizua 1983, Espizua et al. 2006), la información a registrarse en el Inventario para cada cuerpo de hielo del país se dividirá en dos grupos. El primer grupo contendrá información básica para cada glaciar o geoforma periglacial que actúa como reserva hídrica. Siguiendo las normativas del WGMS, a partir de ahora cada cuerpo se identificará como una “unidad”, indicándose:

- El nombre de cada unidad, si es que tiene.
- El código de identificación (según normas WGI-GLIMS)
- La clasificación primaria de la unidad (según normas WGI-GLIMS)

- La provincia, cuenca y subcuenca a las cuales pertenece la unidad
- Coordenadas de la unidad (de acuerdo al Sistema de Referencia POSGAR, Datum WGS84)
- Tipo y fecha de imagen de base utilizada para digitalizar la unidad
- El método utilizado para digitalizar la unidad
- El año en que fue realizado el inventario
- El área total en proyección horizontal de la unidad en km<sup>2</sup>

El segundo grupo incluirá información complementaria que incluye parámetros principalmente de índole física de cada unidad como cotas máxima y mínima, largo total, orientación, y pendiente media (ver Tabla 3). En todos los casos se indicarán las precisiones estimadas de cada medición. También se incluirán datos de la hipsometría (distribución de área por niveles altitudinales) de los distintos cuerpos. Es importante hacer notar que estos parámetros adicionales son requeridos por todos los programas internacionales de inventarios de glaciares y otras crioformas. Los mismos son importantes para caracterizar y comparar de forma cuantitativa a las distintas geoformas, estimar su volumen de hielo y el equivalente en agua y así estimar su importancia como reserva de agua. Esta información es muy útil también para realizar comparaciones a diferentes escalas espaciales y temporales. La importancia de estandarizar la información contenida en el Inventario Nacional de Glaciares siguiendo los requerimientos y estándares internacionales radica además en el carácter público que tendrán los resultados del inventario, lo que constituirá una herramienta científica de gran utilidad para diversos fines.

**Tabla 3. Información complementaria a registrarse para cada cuerpo de hielo en el Inventario Nacional de Glaciares.**

CAMPO	DESCRIPCION	UNIDAD
AREA_EXP *	Área expuesta del glaciar	km <sup>2</sup>
AREA_CUB *	Área cubierta del glaciar	km <sup>2</sup>
AREA_ABLAC *	Área de ablación del glaciar	km <sup>2</sup>
LMAXTOTAL	Largo máximo de la unidad	km
L_MAX_EXP *	Largo máximo expuesto del glaciar	km
LMAXABLAC *	Largo máximo de ablación del glaciar	km
ORIENACUM *	Orientación del área de acumulación	N-S-E-W
ORIENABLAC *	Orientación del área de ablación	N-S-E-W
ORIENTA	Orientación principal de la unidad	N-S-E-W
HMAX	Altitud máxima de la unidad	msnm
HMEDIA	Altitud media del la unidad	msnm
HMINTOTAL	Altitud mínima total	msnm
HMINEXP *	Altitud mínima del área expuesta	msnm
AREA ALIM	Área de alimentación de la crioforma	km <sup>2</sup>
LATITUD	Expresada en coordenadas geográficas	grados/min/seg
LONGITUD	Expresada en coordenadas geográficas	grados/min/seg

Nota: (\*) Corresponde a glaciares descubiertos y cubiertos por detritos.

### **9.1.2. Determinación de cuencas con glaciares y geoformas periglaciales que actúan como reservas hídricas mediante modelos digitales de elevación**

Se identificará la cuenca a la que pertenece cada unidad como también el sector de la misma que representa. Para esta tarea se emplean modelos digitales de elevación (MDE) y algoritmos específicos para el modelado hidrológico. Este tipo de herramientas permite delimitar de manera confiable y rápida las subcuencas donde se encuentran los glaciares (Paul y Andreassen 2009). La principal ventaja de esta técnica es la rapidez con la que se obtiene un buen resultado y la consistencia de los datos obtenidos del inventario para el estudio hidrológico de las cuencas. La desventaja principal es que la precisión del resultado depende fuertemente del MDE utilizado y en general es necesario realizar una inspección y posterior corrección manual. A escala de todo el país la información topográfica oficial es la del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y está separada en cartas topográficas de diferentes escalas (1:250.000; 1:100.000; 1:50.000). Recientemente el IGN ha volcado toda la información de las cartas 1:250000 en formato digital (SIG 250), para lo cual se han digitalizado todas las curvas de nivel de dichas cartas. Sin embargo, esta información no es continua y varía en su resolución altimétrica, ya que existen diferencias entre la equidistancia de las curvas de nivel para diferentes zonas, así como también, su exactitud, sobre todo en algunas zonas de Cordillera de Los Andes debido a la falta de puntos de control. Por lo tanto, desde el IANIGLA proponemos utilizar el MDE SRTM V4 (Jarvis et al., 2009; ver Anexo 1) como base tanto para la delimitación de las subcuencas y georeferenciación de las imágenes, previa corrección y co-registración con puntos de control extraídos de las curvas de nivel de IGN (SIG 250). El MDE SRTM V4 es la última versión del primer modelo digital terrestre basado en interferometría radar (Farr et al., 2007) el cual ha sido convalidado con puntos de control a través de todo el planeta y es una de las fuentes de información topográfica más usadas en zonas remotas o de difícil acceso (Rignot et al., 2003; Berthier et al., 2004; Larsen et al., 2007; Schiefer et al., 2007; Paul and Haeberli, 2008). Este modelo se complementará con el MDE ASTER GDEM V1 (METI/NASA/USGS,2009; ver ANEXO 1) en las zonas donde el SRTM V4 presenta sectores sin datos. El ASTER GDEM V1 es el primer MDE global en base a imágenes ASTER. Si bien posee una mayor cobertura y resolución espacial que el SRTM V4, todavía se encuentra en una etapa experimental.

### **9.1.3. Identificación y mapeo de cuerpos de hielo**

Dada la extensión, variedad e inaccesibilidad de muchas áreas englazadas de nuestro país, las tareas de identificación y mapeo de cuerpos de hielo se realizarán en base a técnicas de detección remota que permiten abarcar grandes extensiones de terreno en forma eficiente y a relativamente bajos costos. Una vez definidas y delimitadas las cuencas englazadas en las zonas de estudio, se seleccionarán las imágenes satelitales más adecuadas para la detección y mapeo de los glaciares en las distintas regiones de la cordillera. En todos los casos se buscará que las escenas seleccionadas tengan una cobertura de nubes y de nieve estacional mínima o nula, ya que estos factores interfieren en la delineación de las unidades de hielo descubierto. Esto se logra utilizando imágenes de finales de la estación de ablación, donde la nieve estacional tiene los mínimos valores anuales (Racoviteanu et al., 2009).

En el caso de unidades compartidas entre distintas regiones administrativas (provincias o países) se recurrirá a la cartografía oficial provista por el IGN para definir la porción que corresponde a cada región. La información registrada básica contendrá la superficie total de la unidad, definida como sistema natural, pero en la información complementaria se desagregará de acuerdo al límite político indicado por el IGN. Por otra parte, en las zonas fronterizas que

todavía tengan pendiente la demarcación del límite internacional, se presentarán los resultados preliminares del Inventario Nacional de Glaciares al Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto para que sea revisado y corregido, antes de ser publicados oficialmente.

Las imágenes serán ortorectificadas y georeferenciadas para corregir distorsiones específicas de cada sensor y para ubicar correctamente cada píxel de las imágenes sobre la superficie terrestre. Estas tareas se realizarán en base a la información topográfica derivada de MDE (SRTM o ASTER GDEM), mapas o cartas topográficas y puntos de control de campo (GCP) obtenidos con equipos GPS en modo diferencial. Estos puntos de control también serán utilizados para validar los MDE y así poder estimar el error asociado. En una primera etapa nos permitirá conocer si estos MDE globales y gratuitos son una buena aproximación a la realidad y de no ser así nos permitirán realizar modelos digitales de elevación de mayor precisión.

Una vez que las imágenes estén correctamente ortorectificadas y georeferenciadas, se procederá a identificar y mapear todo los glaciares y geoformas periglaciales que actúen como reservas hídricas del país de acuerdo a las definiciones discutidas anteriormente.

Las imágenes satelitales a utilizar no deberán tener una fecha de adquisición anterior al año 2000 y serán preferentemente de los sensores ASTER y Landsat ETM+. Estos sensores proveen imágenes con resolución espacial de 15 y 30 m respectivamente, y es en base a ellas que se han realizado la mayoría de los inventarios recientes en Europa y otras regiones del planeta (Kääb et al., 2002; Paul 2004; Paul y Kääb 2005; Svodoba y Paul, 2010; Bolch et al., 2010). Las imágenes Landsat pueden obtenerse sin costo a través de un convenio de colaboración científica entre CONAE y CONICET, mientras que las imágenes ASTER son provistas gratuitamente como parte de un convenio entre el IANIGLA y el programa GLIMS (IANIGLA es el representante de la porción continental de Argentina, siendo identificado como el Regional Center 27. Para más información ver [www.glims.org](http://www.glims.org)).

Para las zonas consideradas conflictivas y/o con abundancia de glaciares de escombros (Andes Desérticos y Centrales principalmente) los mapeos se complementarán con imágenes satelitales de alta resolución (IKONOS, QuickBird, GeoEye, SPOT, y/o ALOS, dependiendo de costos y disponibilidad de imágenes), y/o fotografías aéreas, apoyados por trabajos de campo. Dado que las imágenes de alta resolución son provistas por compañías privadas, sus costos son considerablemente altos. Por ejemplo, una imagen IKONOS cuesta a razón de US\$ 15 dólares por km<sup>2</sup> (o US\$ 40 el par estereoscópico) y se ofrecen a partir de 100 km<sup>2</sup>. Por ello, estas imágenes de alta resolución se utilizarán solamente donde sean estrictamente necesarias y los recursos económicos asignados lo permitan.

#### **9.1.4. Técnicas recomendadas para la delimitación de las unidades**

A continuación se presenta un resumen de las técnicas mas apropiadas para la delimitación de cuerpos de hielo descubiertos y cubiertos. La mayoría de los métodos que se utilizarán han sido propuestos por el grupo de científicos que integran el proyecto GLIMS (Bishop et al. 2004; Raup et al. 2007).

Con excepción de la técnica de delineación manual en pantalla de la superficie de un glaciar, la mayoría de los métodos de clasificación digital de glaciares se basan en la alta reflectancia del hielo y la nieve con respecto a otras superficies en el sector infrarrojo cercano del espectro



electromagnético (Kääb et al. 2003). Esta región del espectro es cubierta por varios sensores (ASTER, Landsat TM/ETM, Spot 4/5) y los métodos multiespectrales, con adaptaciones particulares, pueden emplearse en todas ellas. Por otra parte cabe aclarar que los algoritmos requeridos para una correcta identificación y delineación de las superficies de glaciares a partir de imágenes satelitales en diferentes regiones geográficas requieren muy frecuentemente la adaptación de los métodos a cada región, ya que los cuerpos de hielo entre distintos ambientes presentan diferentes morfologías y diferentes combinaciones o porcentajes de hielo, nieve y detritos. *Por lo tanto no existe un único método de clasificación que sea aplicable a todas las regiones.* Las técnicas recomendadas para la delimitación de unidades se describen a continuación.

#### **9.1.4.1. Digitalización manual**

La interpretación de imágenes satelitales por un operador experimentado es considerada aún la mejor herramienta para extraer información de alto nivel sobre los diferentes tipos de glaciares (Raup et al. 2007). Aunque la digitalización manual puede resultar muy tediosa, un operador capacitado y conocedor de la región puede producir generalmente delineaciones precisas y de alta confiabilidad. La delimitación de las divisorias de flujos, particularmente de límites hielo-hielo entre glaciares que fluyen en direcciones opuestas, no siempre es sencilla, pero puede ayudarse con el uso de modelos digitales de elevación (MED) o fotointerpretación estereoscópica. En los casos donde existen hielo cubierto o geoformas periglaciales, la experiencia y capacidad del operador son fundamentales para identificar y delimitar los cuerpos. Es por ello que esta técnica es la que se utilizará principalmente para la delimitación de dichos cuerpos. Por lo tanto es muy importante proveer antes de comenzar con las tareas de inventario, una capacitación de los operarios en la identificación y correcta caracterización de este tipo de geoformas.

#### **9.1.4.2. Clasificación multiespectral para la identificación de hielo descubierto**

La clasificación de glaciares basada en la utilización del cociente de bandas (e.g. bandas Landsat TM5/TM4 o ASTER NIR3/ASTER SWIR4) ha demostrado ser un método rápido, robusto y preciso para la detección de hielo descubierto (Paul et al. 2002). Estudios preliminares realizados en IANIGLA indican que, de acuerdo con las recomendaciones de GLIMS, tanto el cociente entre TM4/TM5 de Landsat como ASTER NIR3/ASTER SWIR4 producen resultados aceptables arrojando superficies comparables a las obtenidas por digitalización manual (con diferencias que oscilan entre 1 y 2.5%). En caso de ser necesario también se utilizará el método de diferencias normalizadas de bandas NDSI (Rees 2006), cuyos resultados en pruebas preliminares también arrojó valores de superficie muy cercanos a los provenientes de la digitalización manual para sitios elegidos en los Andes Centrales.

#### **9.1.4.3. Métodos geomorfométricos**

Los glaciares descubiertos (de hielo “limpio”) son fácilmente clasificados usando los algoritmos mencionados previamente. Sin embargo, estas técnicas multiespectrales de clasificación tienen limitadas aplicaciones en la identificación y delimitación precisa de los glaciares cubiertos por detritos y los glaciares de escombros, ya que resulta muy difícil separar estos cuerpos de hielo y roca del material fresco, libre de hielo, que comúnmente los rodea, debido a la similitud en la respuesta espectral de los materiales. Existen diversos métodos que intentan salvar esta imposibilidad técnica mediante la utilización de otro tipo de información de sensores remotos, como información termal (infrarrojo) (Taschner y Ranzi,

2002; Shulka et al., 2009) o modelos digitales del terreno (Bishop et al., 2001; Bolch et al., 2005; Bolch y Kamp, 2006 ). A continuación se detallan brevemente estas dos técnicas.

#### **9.1.4.4. Complementación con información termal**

Este método se basa en la diferencia en la región termal del espectro electromagnético que tiene el hielo cubierto por detritos o los suelos congelados, de un terreno cubierto por detritos pero que no contiene hielo (Shulka et al., 2009). Estos datos son combinados con la información proveniente del espectro visible y utilizados mediante técnicas de clasificaciones multiespectrales. La banda termal se utilizó con cierto éxito en glaciares cubiertos de gran tamaño en el Himalaya. Este método está aún bajo proceso de evaluación técnica, no obstante su implementación en Argentina, en el contexto del Inventario Nacional de Glaciares, es prometedora debido a la gran cantidad de hielo cubierto por detritos que presenta la Cordillera especialmente en la mitad norte del país.

#### **9.1.4.5. Complementación con información morfométrica**

A partir de los MDE es posible derivar parámetros morfométricos (pendiente, curvatura, orientación) los cuales son útiles para identificar y describir procesos geomorfológicos y geoformas (Bolch et al., 2005). Mediante la combinación de estos parámetros y análisis estadísticos o clasificaciones multiespectrales es posible diferenciar geoformas que no se pueden diferenciar mediante análisis espectrales convencionales.

La mayoría de estos métodos han sido probados con éxito en diferentes zonas del planeta (Himalayas, Cordillera Blanca, Tien Shan, entre otros), aunque todavía no han sido incluidos en forma sistemática para ningún inventario a escala regional. Por lo tanto, si bien son una herramienta útil que permite aumentar y refinar los criterios para reconocer y delimitar los límites de cuerpos de hielo cubiertos con detritos, la experiencia y capacidad del operador tanto para reconocer a los cuerpos en imágenes multiespectrales como para seleccionar los umbrales o áreas de muestreo para utilizar en las clasificaciones, sigue siendo fundamental.

Finalmente, independientemente de la técnica que se utilice, los límites de los diferentes tipos de unidades serán revisados cuidadosamente (y en caso de ser necesario, corregidos manualmente) para asegurar que no existan errores de mapeo significativos que excedan las precisiones mínimas requeridas en cada caso. Los polígonos resultantes se almacenarán como datos vectoriales (ESRI shapefiles), junto con datos complementarios que contienen información adicional para cada uno de los glaciares identificados. El sistema de referencia nacional POSGAR, Datum WGS84 se utilizará de base principal del sistema.

En todos los casos se intentará completar la mayor cantidad de campos de información adicional de cada archivo correspondiente a cada cuerpo de hielo, de manera que éstos contengan no sólo los campos básicos requeridos para el Inventario Nacional de Glaciares.

#### **9.1.5. Verificación y evaluación de los resultados en el campo**

En todas las regiones del país, y en la mayor cantidad de subcuencas posible, se realizarán periódicamente relevamientos y determinaciones de campo junto con mediciones de GPS en modo diferencial para proporcionar información independiente planimétrica y altimétrica de los mapeos realizados en gabinete. Esto permitirá una evaluación final y la verificación de los

resultados de los inventarios de cada región, identificando a su vez posibles falencias y/o maneras de mejorar la eficiencia y precisión de los trabajos en futuras actualizaciones.

## **9.2. NIVEL 2 – *Estudio de fluctuaciones recientes (últimos años/décadas) de cuerpos de hielo seleccionados***

Como se mencionó anteriormente, en algunas zonas de la cordillera ya existen investigaciones previas que han generado inventarios con información sobre la superficie total y la posición del frente de los glaciares en años y décadas recientes (por ejemplo, Rabassa et al. 1978; Corte y Espizúa 1981, Ruiz 2009; Ruiz et al., 2010; Delgado et al. 2010; Masiokas et al. 2010; Pitte et al. 2010; Falaschi et al. 2010). Esta información de estudios previos es muy importante como una referencia de largo plazo, pero para conocer en forma integral la situación actual de los cuerpos de hielo de nuestro país es necesario desarrollar un análisis de fluctuaciones de glaciares más extensiva, que incluya cuerpos representativos de cada cuenca de relevancia a lo largo de la cordillera.

Nuestros análisis han identificado 39 grandes cuencas que agrupan a las 80 subcuencas con conocido o probable aporte de cuerpos de hielo en Argentina (ver Figura 4 y Anexo 2: Lista de subcuencas). Teniendo en cuenta la variedad de ambientes y situaciones a lo largo de la cordillera, se propone la selección de uno o dos cuerpos por gran cuenca para realizar las tareas de estudio de fluctuaciones de superficie correspondientes al Nivel 2 de detalle. En cada caso se priorizarán aquellos cuerpos que muestren características típicas de la gran cuenca en términos de exposición, tamaño y rango altitudinal. Dada la enorme heterogeneidad de cuerpos de hielo existente a lo largo del país, en las zonas donde existan tanto glaciares como glaciares de escombros se seleccionarán cuerpos representativos de ambos grupos.

Para el caso de los glaciares, en base a imágenes satelitales seleccionadas (idealmente anteriores al año 2000) y mediante diversas técnicas de análisis de sistemas de información geográfica (SIG) que incluyen la co-registración de las mismas con las imágenes de base del inventario, se calcularán las diferencias en área y longitud de los cuerpos seleccionados y sus tasas anuales de variación hasta el año 2010. Otras fuentes de información como documentos y mapas históricos, fotografías aéreas, también serán utilizados para su comparación directa con los datos satelitales recientes, previo proceso de digitalización y georeferenciación. En todos los casos los límites de los glaciares definidos en el Nivel 1 se utilizarán como referencia para evaluar los cambios planimétricos recientes en las áreas de estudio.

Los glaciares de escombros en particular y las crioformas en general, tienen un desplazamiento y variación de área de menor escala que los glaciares convencionales. Por lo tanto se propone para estas crioformas estudios específicos. A partir de información de sensores remotos (imágenes satelitales y fotografías aéreas), y con la ayuda de software que permite una detallada co-registración de las imágenes, es posible estudiar variaciones planimétricas y de velocidad de los cuerpos, de escala de unos pocos metros por año, dependiendo de la resolución espacial de la imagen en cuestión (Leprince et al. 2007; Kääb et al. 2006). En general los parámetros más importantes son cambios en el espesor y velocidad de los glaciares de escombros (Ikeda y Matsuoka, 2002; Kääb et al., 2002). Éstos están relacionados con el contenido de hielo del permafrost, el espesor o volumen de permafrost y las condiciones térmicas del mismo. Recientemente Kääb et al. (2006) encontraron una relación lineal directa entre la velocidad de varios glaciares de escombros y la temperatura del aire. A partir del análisis de las velocidades de glaciares de escombros y su altimetría a escala

temporal de décadas, es posible tener una visión más completa de la dinámica de estos cuerpos.

La información obtenida hasta el año 2010 se archivará en registros complementarios de cada unidad que se sumarán a los datos obtenidos en el Nivel 1 para cada sitio. Esta información será accesible al público en general y a la comunidad científica para su uso en estudios futuros relacionados. El análisis matemático y la comparación del área de las unidades en diferentes fechas se llevarán a cabo con software específico para el procesamiento de sistemas de información geográfica.

### **9.3. NIVEL 3 – *Estudio detallados de cuerpos de hielo seleccionados en las distintas regiones del país***

Tanto los glaciares convencionales como los glaciares de escombros pueden ser tomados como sistemas abiertos que intercambian energía y masa con el resto del ambiente (Haeberli 1985; Benn y Evans 1996). Para poder responder a preguntas como: ¿Cómo es la dinámica de estos sistemas complejos? ¿Cuáles son los parámetros físicos que determinan su comportamiento? ¿Cuál es el volumen de agua que contienen? ¿Cuál es el aporte a la escorrentía de los ríos? y ¿Cómo reaccionan a las condiciones meteorológicas actuales y cómo lo harían siguiendo escenarios futuros del cambio climático? (ver Tabla 2) es necesario un estudio integrado que tenga en cuenta todos los aspectos propios y ajenos que influyen en los sistemas glaciares y criogénicos. Por ello se propone realizar un estudio integrador que combine los siguientes aspectos:

- Topografía superficial de precisión, velocidad, espesor y estructura interna de los cuerpos de hielo, con el fin de estimar su volumen estimado de hielo junto con la dinámica interna y general de los cuerpos.
- Estudios de balance de masa, de energía e hidrológico, con el fin de comprender el intercambio de masa y energía con el ambiente.
- Análisis integrado de los resultados, proyecciones a futuro y modelado.

Combinando los estudios de balance energético, de masa e hidrológico junto con los estudios de dinámica de los cuerpos, se puede tener una visión completa del sistema. Dicha información es sumamente útil y relevante para un manejo integral de los recursos hídricos, para el análisis y modelamiento de la dinámica de los glaciares/crioformas y su relación con cambios climáticos, para estudios geomorfológicos y sedimentológicos en cuencas con reservas criogénicas, y para la educación y concientización de la población acerca de la problemática de la pérdida de los cuerpos de hielo en cordillera.

A continuación se presenta un resumen simplificado de los métodos y técnicas a realizar para cumplir con los objetivos propuestos en el **Nivel 3**.

#### **9.3.1. Topografía superficial de precisión, velocidad, espesor y estructura interna, para estimar el volumen estimado de hielo, dinámica interna y general de los cuerpos.**

##### **9.3.1.1 Plani-altimetría de detalle y determinación de la velocidad superficial de los glaciares y/o crioformas seleccionadas**

La posición actual de los glaciares y/o crioformas y su nivel de superficie serán relevados mediante el método de posicionamiento satelital en modo diferencial (dGPS; Jacobsen and

Theakstone 1997). Este tipo de técnica permite disminuir significativamente los márgenes de error en las mediciones e incorporar esta información a los mapas desarrollado para cada sitio. La técnica de levantamientos topográficos con dGPS se basa en emplear simultáneamente dos receptores GPS (receptor base y receptor móvil) próximos entre sí y por lo tanto afectados por los mismos errores. Durante todo el tiempo que dura el levantamiento ambos receptores registran datos de los satélites en forma periódica (por ej. cada 15 segundos). El receptor “base” se ubica en un vértice geodésico o punto de coordenadas perfectamente conocidas, mientras que el receptor “móvil” se desplaza a lo largo de la trayectoria del levantamiento o serie de puntos de los cuales queremos saber su posición. Combinando la información obtenida por ambos receptores es posible obtener, mediante correcciones diferenciales, la posición relativa entre ellos y posteriormente las coordenadas reales de los puntos relevados con el GPS móvil.

Debido a las diferencias reológicas (comportamiento de los materiales) entre los glaciares y los glaciares de escombros, estos últimos tienen valores de velocidad planimétrica y de cambios de altura de uno a dos órdenes de magnitud menores que los glaciares (Paterson, 2001; Ikeda et al., 2007). Para calcular la velocidad superficial de los glaciares y/o crioformas es necesario conocer la posición del mismo punto del cuerpo en diferentes tiempos (minutos, horas, días, años). Para ello se utilizan mojones o balizas perfectamente identificados sobre la superficie de los cuerpos y que son monitoreados regularmente (Paterson, 2001; Haeberli et al., 1979). Cuanto menor es el intervalo de tiempo entre mediciones, mejor es el conocimiento de la dependencia de la velocidad de los cuerpos con respecto a los cambios en los parámetros meteorológicos. Los errores de este tipo de determinaciones generalmente son de pocos centímetros tanto a escala horizontal como vertical (Eiken et al. 1997), y pueden considerarse muy adecuados para determinaciones de cambios en altura y en desplazamiento de glaciares y/o crioformas.

#### **9.3.1.2. Espesor y estructura interna de glaciares y crioformas**

Existen diferentes técnicas para conocer el espesor de los cuerpos y su arreglo interno. Entre las más invasivas se encuentran la realización de calicatas o cortes con topadoras o perforaciones profundas y la extracción de testigos (Haeberli, 1987), mientras que métodos relativamente inocuos incluyen técnicas geofísicas indirectas como radar de penetración de terreno (GPR, por su siglas en inglés, ground penetrating radar), geo-eléctrica o sísmica de reflexión. Cada técnica tiene sus ventajas y desventajas, y a la hora de seleccionar una de ellas, hay que estar seguro cuál es el resultado que se quiere obtener. Desde el IANIGLA se propone la utilización de GPR, con la posibilidad de realizar una perforación profunda como validación para estudiar el interior de los cuerpos de hielo. Este tipo de estudios en forma combinada permite conocer la estructura interna de los glaciares y/o crioformas, el espesor, su contenido de hielo, y por lo tanto comprender y cuantificar su importancia como reserva hídrica.

El uso del GPR constituye un método geofísico no invasivo e indirecto que permite conocer la estructura sub-superficial del terreno. La técnica se basa en la utilización de pulsos electromagnéticos en la longitud de onda de las microondas, que luego de ser emitidas por el radar, son reflejadas en las estructuras sub-superficiales (diferencia de constante dieléctrica entre los materiales) y finalmente son recibidas por una antena acoplada al mismo radar. El rango de profundidad depende principalmente de la conductividad eléctrica del terreno y de la frecuencia de la onda con que trasmite la fuente transmisora. A medida que aumenta la conductividad, aumenta la señal recibida. Por su parte, cuanto mayor es la frecuencia, se



obtiene una mayor resolución pero menor capacidad de penetración. El GPR o Geo-radar como se lo conoce comúnmente, ha sido utilizado numerosas veces con éxito para conocer la estructura interna y el espesor tanto de glaciares convencionales como de glaciares de escombros (Trombotto, 1991, Trombotto et al., 1999; Travassos et al., 2008). A partir de la información sobre la estructura interna y el espesor de los cuerpos obtenidos a partir de GPR junto con la planimetría y topografía superficial obtenida mediante GPS diferencial, se puede conocer el volumen de hielo y detrito presentes en el cuerpo estudiado y estimar su equivalente en agua.

### **9.3.2. Balances de masa, de energía e hidrológico de cuerpos de hielo seleccionados**

#### **9.3.2.1. Determinación del balance de masa de glaciares elegidos**

La diferencia entre la cantidad de nieve depositada en la zona de acumulación y la cantidad de hielo perdida en la zona de ablación durante un periodo de tiempo determinado (normalmente se considera un año hidrológico, o sea desde el inicio del invierno hasta el final del verano) es un indicador del “estado de salud” o “balance de masa” de un glaciar. El estudio del “balance de masa” de un glaciar es fundamental para conocer su situación actual, la dinámica del mismo y su relación con las principales variables atmosféricas (precipitación, temperatura). Tanto la acumulación como la ablación se miden en milímetros de agua equivalente (mm eq. agua) para poder estandarizar la cantidad de agua en forma de nieve, hielo, escarcha, granizo o agua de lluvia que se acumula o se pierde a lo largo del año en las distintas partes del glaciar.

Una expresión simple para representar dicho concepto sería la siguiente:

$$\text{Balance de masa anual} = \text{Acumulación (ganancia)} - \text{Ablación (pérdida)}$$

En los sitios elegidos para un monitoreo intensivo (Nivel 3 de Inventario), se determinará el balance de masa de un glaciar utilizando el método glaciológico directo (Paterson 2001; Leiva et al. 2007) complementado con por lo menos un métodos adicional (ver más abajo). La determinación del balance de masa y del balance de energía de los glaciares permitirá estimar empíricamente la contribución de dichos cuerpos a los caudales de los ríos cordilleranos y, a partir de allí, inferir los impactos de los cambios climáticos en la disponibilidad del recurso hídrico.

##### **9.3.2.1.1. Método glaciológico directo**

Mediante este método, también llamado de “estacas y pozos”, se medirá directamente en el terreno el cambio de masa anual de los glaciares seleccionados (Francou y Pouyaud, 2004; Leiva et al., 2007). La medición se realizará a partir de la instalación de una red de estacas (llamadas balizas) en la mayor parte del glaciar. Estas balizas son introducidas utilizando una sonda de vapor a presión, y servirán para medir tanto la acumulación de nieve al final de la estación invernal, como la pérdida de nieve y hielo al final de la época de ablación o estival. En la parte más alta del glaciar (donde generalmente la acumulación supera a la ablación), es decir, en la “zona de acumulación”, se excavarán pozos o se harán perforaciones donde se medirá directamente la cantidad de nieve o de hielo acumulados entre el inicio y el fin del año hidrológico. Simultáneamente, en estos sitios se determinará la densidad de la nieve/hielo acumulados para convertir dichos valores en mm equivalentes de agua. Los balances de masa del glaciar obtenidos al final de la estación de acumulación y al final de la estación de

ablación permitirán cuantificar la importancia relativa de las componentes de acumulación y ablación en el balance neto específico de un año dado y relacionar dichas componentes con variables meteorológicas para conocer su influencia en el comportamiento del glaciar.

#### **9.3.2.1.2. Método geodésico**

El balance de masa determinado mediante el método glaciológico será complementado con el método geodésico donde se determinará en detalle la plani-altimetría del glaciar en cuestión (ver punto 9.3.1.1) (Paterson, 2001). Este método permite estimar las variaciones altitudinales de la superficie del hielo a través del tiempo, y los pasos a seguir se resumen a continuación: En primer lugar, utilizando equipos GPS geodésicos en modo diferencial, se realizarán anualmente levantamientos topográficos detallados del glaciar, con el objetivo de medir su superficie y contorno con gran precisión (estos equipos y el método de procesamiento en modo diferencial permiten determinaciones planimétricas y altimétricas de unos pocos centímetros de error; ver punto 9.3.1.1). Con esta información se desarrollará un MDE para cada glaciar, que será comparado con los MDEs disponibles de otros años con el fin de calcular los cambios de espesor y la pérdida de área y volumen en los cuerpos de hielo en estudio. Dichas pérdidas repartidas sobre todo el glaciar y convertidas en equivalente agua proporcionan el balance de masa por rango altitudinal, las cuales pueden compararse directamente con los resultados de las determinaciones obtenidas por el método glaciológico directo (Francou y Pouyaud, 2004).

#### **9.3.3. Monitoreo de capa activa y capa transicional de los glaciares de escombros seleccionados**

La capa activa de los glaciares de escombros es la zona superficial con congelamiento y descongelamiento estacional y por lo tanto es la zona del glaciar de escombros que entrega agua a la cuenca, también es posible que ingrese agua por derretimiento de la base del permafrost, pero ésta es mucho menor (Barsch, 1996). Existen diversos métodos para el monitoreo de capa activa (Nelson y Hinkel, 2004). En los Andes Centrales el método más probado y que se está expandiendo tanto en la Argentina, (Trombotto, 2007) como en Chile (Azócar y Trombotto comunicación personal, 2010) es mediante perforaciones superficiales (Hernández, 2002) y la instalación de termistores o termómetros digitales a diferentes profundidades. De esta manera es posible penetrar hasta el tope o límite superior del permafrost y conocer las variaciones de temperatura en la capa activa y capa transicional a lo largo del año. Para conocer las variaciones espaciales a lo largo de todo el glaciar de escombros, es necesario realizar por lo menos tres perforaciones.

En los sitios piloto seleccionados se propone la instalación de una serie de sensores en profundidad y en la interfase superficie/aire que complementarán a los demás instrumentos de la estación meteorológica (ver punto 3). A partir de las mediciones en profundidad y su comparación con temperaturas superficiales es posible comprender:

- La difusividad térmica de los materiales que componen la capa activa
- La variación de la onda térmica a lo largo del año.
- El espesor de la capa activa y la profundidad del tope del permafrost.

Este último es quizás uno de los parámetros más importante para conocer la evolución del supra-permafrost o parte superior del permafrost de montaña a largo plazo (Trombotto y Borzotta, 2009). Si el espesor de la capa activa aumenta, es factible asumir que el permafrost

se esta degradando (derritiendo) como resultado de una mayor penetración de la onda de calor desde la superficie.

#### **9.3.4. Determinación del balance de energía en la superficie de los glaciares y/o crioformas**

El balance energético o balance calórico consiste en realizar el inventario de los flujos energéticos (radiativos, conductivos y turbulentos) entre el glaciar/crioforma y la atmósfera. Estas determinaciones son fundamentales para comprender físicamente cómo estos cuerpos responden a las variables meteorológicas y, en consecuencia, al clima. Para calcular el balance de energía ( $\Delta Q$ ) puede utilizarse la siguiente ecuación (en ella los flujos hacia la superficie se consideran positivos):

$$\Delta Q \text{ (en } W \text{ m}^{-2}\text{)} = NR + LH + H + M + G$$

Donde, NR= radiación neta (onda corta y larga); LH= calor latente; H=calor sensible; M= calor por fusión; G= calor geotérmico. Para medir todos los flujos de energía en la interface superficie-atmósfera se utilizan estaciones meteorológicas automáticas o semiautomáticas con capacidad para registrar los parámetros ambientales necesarios para calcular los balances energéticos. Para que sea representativa la estación meteorológica tiene que ser instalada en la superficie del cuerpo. Los parámetros meteorológicos relevantes para el cálculo del balance energético, y que deben medirse en una estación meteorológica son:

- Radiación de onda corta, incidente y reflejada.
- Radiación de onda larga, incidente y emitida.
- Temperatura, a tres niveles para establecer un gradiente.
- Viento, a tres niveles, para establecer gradiente.
- Presión atmosférica.
- Humedad relativa.
- Evaporación (su importancia depende del área geográfica).
- Precipitación líquida y sólida (incluyendo espesor y densidad), si se produce.

Los estudios recientes de balance de energía se basan en mediciones de terreno y modelamiento para calcular las proporciones de fusión, sublimación y recongelación que se producen en la superficie del glaciar y en la superficie y capa activa de las crioformas. Esta información permite entender los procesos que caracterizan el balance de energía.

#### **9.3.5. Determinación de balances hidrológicos**

La determinación de un balance hidrológico requiere un análisis de datos hidro-meteorológicos en los sitios piloto seleccionados y es complementario con determinaciones de balances de masa obtenidas a través de estudios glaciológicos o topográficos y con los monitoreos de capa activa y transicional en glaciares de escombros. Este método se basa en la comparación, a escala de tiempo anual, entre la cantidad de nieve acumulada por las precipitaciones sólidas y la escorrentía proveniente del glaciar o crioforma. Una estimación indirecta de un balance de masa se obtiene de la diferencia entre estas dos cantidades (Paterson, 2001).

### **9.3.5.1. Medición de escurrimientos diarios superficiales en las cuencas piloto elegidas**

Se instalarán sensores limnimétricos en los arroyos provenientes del glaciar o crioforma estudiado, lo más cerca posible del frente de los cuerpos de hielo a fin de poder precisar el caudal generado a partir de dichos cuerpos y no el que proviene de otras partes de la cuenca. La medición de la altura de agua en una sección dada permite conocer los caudales erogados a través de la determinación de una relación unívoca entre el nivel del agua y el caudal (Francou y Pouyaud, 2004). Para ello se utiliza una curva de calibración que hace corresponder a cada altura de agua el caudal que atraviesa la sección en ese momento. La curva de calibración es obtenida por una serie de aforos en distintas épocas del año y a distintas horas del día (Francou y Pouyaud, 2004). En este caso la medición de la altura del agua se realizará utilizando un sensor de ultrasonido.

### **9.3.5.2. Comparación con datos meteorológicos**

Para obtener el balance hidrológico en cada cuenca es fundamental realizar observaciones meteorológicas detalladas (con resolución diaria o superior) y correlacionarlas con el comportamiento de los derrames observados durante cada ciclo hídrico. Para ello se utilizarán los datos de las estaciones meteorológicas completas (precipitación líquida y sólida, viento, humedad, temperatura, radiación) instaladas en sitios seleccionados en la periferia de los cuerpos de hielo elegidos, complementadas por nivómetros totalizadores y/o estaciones meteorológicas móviles (AWS, automatic weather stations) sobre la superficie de los mismos. Estas estaciones aportarán información clave para poder medir gradientes altitudinales en las distintas variables meteorológicas observadas, diferencias en distribución y cantidad de nieve acumulada en distintos sectores, y también calcular los flujos energéticos en cada sitio. Esto permitirá correlacionar los regímenes de los caudales erogados por los glaciares y/o crioformas con variables meteorológicas específicas.

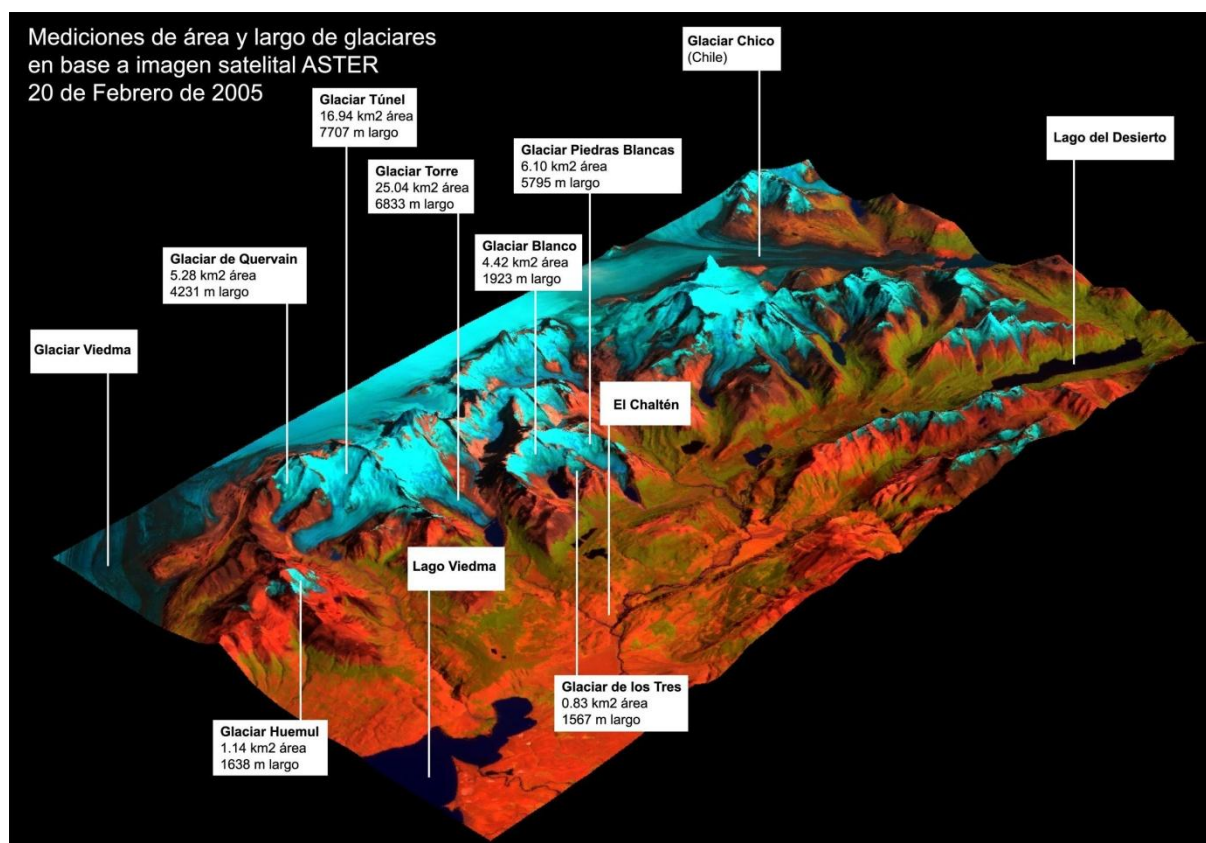
### **9.3.6. Análisis integrado de los resultados, proyecciones a futuro y modelado**

Los resultados obtenidos en los puntos anteriores serán analizados en conjunto para conocer la situación actual y perspectivas futuras de cada sitio (nivel de superficie y volumen de hielo actual y remanente para las décadas venideras). Los cálculos de volúmenes de hielo permitirán realizar además una serie de inferencias adicionales. Por ejemplo, con estos datos se podrá evaluar la performance de modelos empíricos que calculan el espesor y volumen de glaciares y/o crioformas utilizando sólo información del área y la pendiente de los mismos (Bahr et al. 1997; Paul et al. 2007; Brenning et al., 2010). Estos modelos han sido empleados en otras regiones montañosas del mundo pero hasta la fecha no han sido corroborados con datos de campo en Argentina. En caso de mostrar un margen de error aceptable, su aplicación podría extenderse a las distintas regiones para obtener una visión más representativa de la situación actual y posibles escenarios futuros de los glaciares y crioformas en los Andes.

La combinación de diferentes metodologías para el cálculo de balances de masa permitirá mejorar nuestro entendimiento sobre el rol que cumplen los distintos cuerpos de hielo en el ciclo hidrológico cordillerano, y relacionar la variabilidad hidrológica observada con condiciones meteorológicas específicas. Esta información de base permitirá a su vez comenzar a dilucidar los posibles impactos hidrológicos que podrían acarrear los distintos escenarios climáticos pronosticados para las próximas décadas a lo largo de la Cordillera de los Andes.



Finalmente, la discusión de resultados será acompañada con un análisis crítico de las ventajas y limitantes de las distintas metodologías propuestas, teniendo en cuenta la posible utilización de las mismas en estudios futuros en otros sitios a lo largo de los Andes.



**Figura 8.** Detalles del inventario de glaciares que IANIGLA está llevando a cabo en la región El Chaltén-Lago del Desierto. Las medidas de superficie y largo indicadas en cada uno de los glaciares han sido aprobados e incorporadas a la base internacional GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space, Boulder Colorado, USA).



Arreo de mulas, Parque Aconcagua, Mendoza

## Base de datos

### 10. Organización de la base de datos del Inventario

Dada (1) la enorme cantidad de datos que se generarán durante las tareas de inventario, (2) el carácter de participación abierta del inventario a través de un número importante de ejecutores, (3) la extensa red de sitios e instituciones involucradas, y (4) el carácter público y de libre acceso que se pretende dar al inventario, la información generada por el Inventario Nacional de Glaciares se organizará a través de un sistema de manejo de bases de datos geográficos utilizando tecnologías llamadas de “Infraestructura de Datos Espaciales” (IDE) y de “Geobases de Datos”.

Este tipo de tecnologías permite organizar la gestión de datos e información obtenida como parte de los trabajos del inventario, incluyendo el intercambio de información entre responsables, capacitación y entrenamiento, desarrollo de información geográfica, documentación, auditoría, evaluación, compilación final e incluso publicación abierta (internet) o en una red de cooperación interna (intranet).

Conceptualmente, una IDE consiste en un conjunto articulado de tecnologías, políticas, acuerdos institucionales, recursos y procedimientos estandarizados de trabajo, cuya meta principal es asegurar la cooperación para hacer accesible información geográfica. En el contexto del Inventario Nacional de Glaciares, las IDE proporcionarán una base para la búsqueda, evaluación y aprovechamiento de la información geográfica para usuarios y generadores de todos los niveles del personal involucrados.

La implementación de las tecnologías propias de las IDE está ligada a dos ideas fundamentales: (a) la necesidad de hacer disponibles y acceder, de manera fácil, cómoda, eficaz, confiable y a bajo costo, a los datos geográficos existentes en una red de nodos u organizaciones; y (b) la oportunidad de reutilizar la información geográfica generada en un proyecto o etapa de éste (cuyo costo de producción es generalmente muy elevado) para otras finalidades diferentes.

Los servicios de estas tecnologías habitualmente son combinados y organizados a través de un GeoPortal (portal geográfico en Internet), ofreciendo al usuario la posibilidad de acceso a

grandes volúmenes de información geográfica de un territorio en particular y a través de diferentes tipos de servicios. Por ejemplo, existe la posibilidad de buscar un fenómeno por su nombre (Nomenclator), visualizar el resultado sobre los datos de referencia disponibles (WMS), localizar un producto seleccionando algunas características de éste (Catálogo) y visualizarlo en pantalla (WMS , WFS o WCS), incluso editarlo y/o descargarlo (WFS o WCS).

Estos servicios, en particular cuando se combinan con otras tecnologías como las propias de geobases de datos, permiten una gran serie de ventajas para el intercambio de información geográfica (IG) dentro de una red de cooperación y producción, entre otras:

- permiten reducir la redundancia de los datos y duplicaciones de esfuerzos de producción de IG
- fácil interoperabilidad entre información e IG procedente de diversas fuentes
- disminución de los errores generados en la actualización o edición de información, particularmente cuando sobre la IG intervienen diversos generadores/productores
- incremento de la consistencia de la información
- facilidad para el registro y monitoreo de versiones de la IG y facilidades para su búsqueda y recuperación
- mayor integridad en los datos e independencia de las aplicaciones (programas), es decir, mayor facilidad para el intercambio y producción de IG con independencia del software que utilice cada productor de IG
- facilidades para incrementar la seguridad en el manejo de datos
- facilidad de acceso a datos, intercambio y consulta
- notable reducción de costos de generación de IG, administración, intercambio, actualización
- facilidades para la publicación libre de cartografía a partir de productos de IG generados

Sin embargo, estas tecnologías también conllevan una serie de desventajas que deben ser cuidadosamente tenidas en cuenta durante el diseño de una arquitectura de trabajo:

- la implementación inicial de estos sistemas y redes es relativamente compleja, costosa y demandante de tiempo al comienzo de las operaciones
- exige la incorporación de personal técnico informático para la administración durante la instalación y aún en la fase operativa
- demandante de tecnología de hardware y software
- daños en la base de datos, sin mecanismos de respaldo, afectan virtualmente a toda la red de trabajo
- Entrenamiento intensivo necesario, en el manejo, administración y producción de IG, al comienzo del proyecto

Los beneficios de operar con estas tecnologías superan por mucho las desventajas, aunque como se mencionó son altamente demandantes de entrenamiento, inversión en tecnologías y diseño de una estructura apropiada de trabajo en el comienzo.

En el marco del Inventario Nacional, este sistema se implementará teniendo en cuenta algunas consideraciones importantes:

1. Las distintas regiones constituirán nodos locales para la administración de IG regional.

2. Estos nodos locales deben componerse del grupo de trabajo de gabinete y de campo que se considere apropiado para la tarea de inventario de la región asesorados por uno o más técnicos informáticos capacitados en la implementación y administración posterior de las conectividades para asegurar el flujo de IG desde el nodo dentro de la red.
3. Será necesario diseñar una red de comunicación entre nodos, aplicando estas tecnologías, acorde a la estructura de producción de IG, auditoría, evaluación y publicación final de productos.
4. También se diseñará un plan de producción y publicación de IG.

Algunas consideraciones adicionales:

- Cada nodo local responsable de la producción de IG debe tener la capacidad (local) de producir y documentar la IG correspondiente, almacenarla en base de datos, (BD), (no vectoriales sino matrices de datos, aunque su trabajo en pantalla sea vectorial) y de esta forma dejarla disponible mediante herramientas OGC para el siguiente escalón de monitoreo y/o auditoría de avances (en forma remota y sin necesidad de consultas presenciales). Con estas tecnologías esto incluso puede ser hecho en forma simultánea (tiempo real).

- En la etapa de revisión de las tareas, el Revisor de Inventario puede almacenar comentarios e incluso editar la IG, quedando registrada en la BD sus ediciones de aportes e incluso pudiéndose llevar un control de versiones para recuperar cuando se lo desee cualquier versión previa.

- El trabajo de producción permite independizar a una estructura de trabajo de la presencia física entre partes para discutir progresos del trabajo (más aún cuando es posible incorporar en un plan de trabajo tecnologías de comunicación y videoconferencia como skype, dimdim, entre otros), con lo cual es posible reducir costos de viajes dentro del plan.

Actualmente existen protocolos internacionales y software libre y gratuito muy bien establecidos y de probada eficacia para el manejo de bases de datos geográficos online. Incluso existen en el país convenios entre numerosas instituciones nacionales y provinciales que han comenzado a adoptar estos sistemas con el fin de facilitar el acceso e intercambio de información geográfica. Los datos generados por el Inventario Nacional de Glaciares podrían perfectamente amoldarse a esta iniciativa y contribuir con información actualizada y relevante sobre los cuerpos de hielo en las distintas regiones del país.



Penitentes sobre Glaciar Canito Sur, San Juan

## Difusión

### 11. Presentación y difusión de resultados

Uno de los puntos clave que contribuirá al éxito en el largo plazo de este proyecto de inventario y monitoreo de glaciares y ambiente periglacial consiste en una efectiva presentación y difusión de los resultados obtenidos a los distintos sectores de la comunidad en Argentina. Para ello se prestará especial atención en la preparación de informes de avance e informes finales de subcuencas, cuencas y regiones, complementados con un intenso programa de difusión dirigido a las comunidades locales, los administradores de los recursos hídricos, el turismo y las asociaciones ambientales, los responsables políticos y el público argentino en general. Investigadores de IANIGLA junto con especialistas de otras instituciones nacionales y con el apoyo de la Universidad Nacional de Cuyo crearon a fines de 2009 el sitio web "Glaciares de Argentina" (<http://www.glaciares.org.ar>) con el objetivo principal de difundir información, novedades y resultados de las actividades de investigación relacionadas con los glaciares en el país. Los contenidos del sitio están completamente en español para facilitar el acceso a la información a la mayor cantidad de personas en la Argentina y Latinoamérica principalmente. Desde su lanzamiento en diciembre de 2009, el sitio ha sido visitado 20.500 veces y desde 68 países diferentes, con casi 16.000 visitas procedentes solamente de la Argentina. En el marco de este proyecto se utilizará este sitio web, en conjunto con el sitio de la Secretaría de Ambiente de la Nación, como una de las principales plataformas de publicación y difusión de los inventarios de cuerpos de hielo para las distintas regiones de estudio.





Glaciar de escombros, Playa Ancha, Aconcagua, Mendoza

## Implementación

### 12. Implementación de las tareas

A continuación se presenta un cronograma de actividades para la realización del Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial. El mismo tiene carácter tentativo debido a diversos factores incluyendo, entre otros: a) la disponibilidad (y fecha de asignación efectiva) de fondos para comenzar las tareas y la complejidad de las mismas, b) la necesidad de gestionar la incorporación de personal en las categorías A y D (Profesional de Inventario y Coordinador de Inventario) y de contar con la aceptación a participar de personal de las categorías B y C (Directores y Revisores de Inventario), c) el carácter inter-institucional del personal involucrado, y d) la posibilidad de organizar reuniones de discusión y capacitación del personal al inicio de cada año del proyecto. Asumiendo que se cuente con la aprobación de la presente propuesta y que existan fondos suficientes para comenzar las actividades al inicio del verano de un año dado, es decir, en los meses de diciembre/enero, una secuencia tentativa de tareas (divididas por cuatrimestres) para la realización del Inventario a nivel nacional se presenta en la Tabla 4. Existen algunos elementos adicionales que es importante considerar junto con el cronograma de tareas de la Tabla 4:

1) Los análisis de inventario en zonas prioritarias deben ser realizados en 180 días y por lo tanto no se ajustan al cronograma general presentado para el resto de las zonas del país. Por el momento no se han identificado zonas prioritarias en cordillera y por lo tanto se desconoce la magnitud de las tareas, la necesidad de personal, fondos, y otros pormenores que seguramente se definirán en un futuro cercano.

2) Nuestros análisis preliminares han identificado 39 cuencas hidrográficas que pueden dividirse en 80 subcuencas sobre las que se basarán las tareas de inventario en el país (ver Figura 4 y Anexo 2). Esta lista tentativa permite abarcar la totalidad de la Cordillera de los Andes desde Salta y Jujuy hasta Tierra del Fuego y las islas del Atlántico Sur. Si bien es posible que en algunas de estas subcuencas no existan actualmente cuerpos de hielo de importancia, para el Nivel 1 de detalle se utilizará por el momento la base de 80 subcuencas para dividir las tareas de inventario durante los cinco años que durará la primera actualización del mismo. En base a ello, durante el primer año de tareas se asignarán y trabajarán un



mínimo de 16 subcuencas; durante cada año subsiguiente se utilizará igual número mínimo de subcuencas hasta completar la totalidad de cuerpos de hielo del país en cinco años.

3) Para el Nivel 2 de detalle (fluctuaciones recientes de los cuerpos de hielo), se identificará al menos una unidad representativa por gran cuenca. Esto indicaría un mínimo de 39 cuerpos de hielo (ver Figura 4). Sin embargo, en algunas cuencas que contienen tanto glaciares como glaciares de escombros como cuerpos representativos, se aumentará el número de unidades seleccionadas para incluir a ambos grupos dentro de los análisis. Por ello el número total de cuerpos a estudiar al Nivel 2 de detalle probablemente sea cercano a 60. Para el primer año de actividades y durante cada año subsiguiente se trabajarán al menos 12 cuerpos de hielo al Nivel 2 de detalle, hasta alcanzar la totalidad de cuerpos representativos de todas las grandes cuencas identificadas en el país (Figura 4).

4) Con respecto a los estudios del Nivel 3 de detalle (monitoreo y estudios detallados de cuerpos de hielo), los cuerpos representativos incluirán glaciares y/o glaciares de escombros dependiendo de las condiciones de cada región del país. El número y tipo de cuerpos a monitorear en detalle por región podría incluir:

- Andes Desérticos: un glaciar y dos glaciares de escombros
- Andes Centrales: un glaciar y un glaciar de escombros
- Andes del Norte de la Patagonia: un glaciar
- Andes del Sur de la Patagonia: un glaciar
- Andes de Tierra del Fuego: un glaciar

5) Incorporación de Personal. Nivel 1: El personal correspondiente de las categorías A, B, C y D descritas en el punto 8: Organización del Personal, se incorporará y organizará teniendo en cuenta un mínimo de 16 subcuencas a trabajar por año al Nivel 1 de detalle. Para los Niveles 2 y 3 de detalle, en el primer año de actividades las tareas se complementarán entre el personal asignado al Nivel 1 y personal e investigadores del IANIGLA y de otras instituciones interesadas.

6) Las experiencias e imprevistos observados durante el primer año de tareas servirán para ajustar o modificar algunos ítems del cronograma tentativo de actividades de los Niveles 1, 2 y 3 de detalle del Inventario Nacional.

**Tabla 4. NIVEL 1. Cronograma tentativo de actividades (subdivididas en cuatrimestres) para la realización del Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial.**

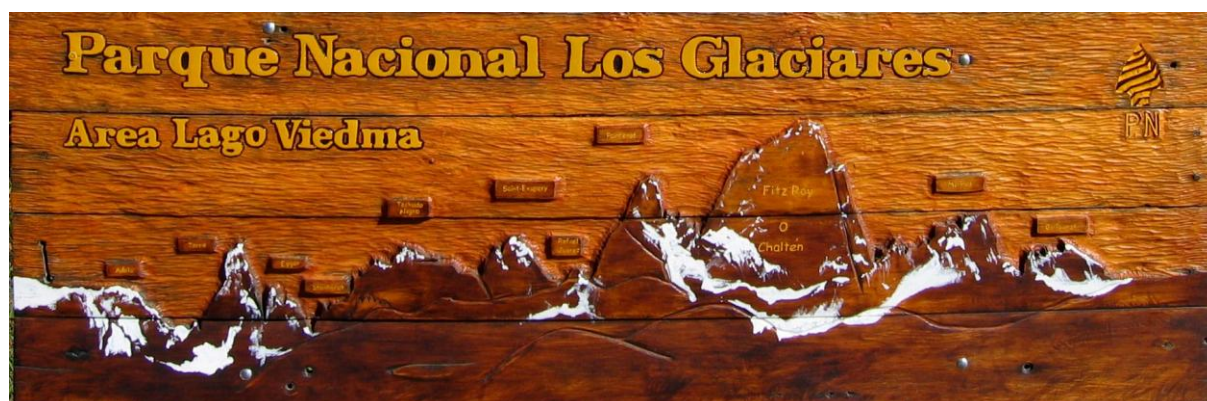
<b>Tareas – Nivel 1</b>	<b>1er año</b>				<b>2do año</b>				<b>3er año</b>				<b>4to año</b>				<b>5to año</b>			
Organización de reunión de presentación y discusión del Cronograma de Inventario	x				x				x				x				x			
Gestión e incorporación de personal (niveles A, B, C y D)	x	x			x	x			x	x			x	x			x	x		
Diseño, desarrollo e implementación del sistema de manejo de la base de datos online	x	x	x		x				x				x				x			
Capacitación del personal en técnicas específicas de inventario y en manejo de base de datos online	x	x	x	x	x	x			x	x			x	x			x			
Identificación y adquisición de imágenes satelitales apropiadas para las tareas de inventario	x	x			x	x			x	x			x	x			x			
Identificación, mapeo y caracterización de cuerpos de hielo		x	x			x	x			x	x			x	x			x	x	
Extracción de parámetros morfométricos			x			x				x				x				x		
Revisión y corrección de resultados preliminares de mapeos y caracterización			x	x		x	x			x	x			x	x			x		
Verificación de resultados a campo				x	x			x	x			x	x			x	x			x
Publicación de resultados preliminares, inventarios de cuerpos de hielo por subcuena				x	x			x	x			x	x			x	x			x
Publicación oficial del Inventario Nacional – Nivel 1: Superficie cubierta por cuerpos de hielo																		x	x	

**Tabla 4 (cont.). NIVEL 2. Cronograma tentativo de actividades (subdivididas en cuatrimestres) para la realización de los estudios correspondientes al Nivel 2 del Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial.**

<b>Tareas – Nivel 2</b>	<b>1er año</b>				<b>2do año</b>				<b>3er año</b>				<b>4to año</b>				<b>5to año</b>			
Organización de reunión de presentación y discusión de metodologías	x				x				x				x				x			
Organización y capacitación del personal en técnicas específicas del Nivel 2 de detalle	x	x	x	x	x	x			x	x			x	x			x			
Identificación de cuerpos de hielo representativos	x	x			x				x				x				x			
Identificación y adquisición de imágenes satelitales y material adicional para estudios de fluctuaciones	x	x			x	x			x	x			x	x			x			
Co-registro, georeferenciación del material en base a imágenes de referencia		x	x			x	x			x	x			x	x			x	x	
Identificación, mapeo y caracterización de cuerpos de hielo en las imágenes y fotos disponibles		x	x			x	x			x	x			x	x			x	x	
Cálculo de variaciones en largo, superficie, velocidad en distintos años/décadas			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x
Publicación de resultados preliminares, fluctuaciones recientes de cuerpos de hielo por gran cuenca								x				x				x				x
Publicación oficial del Inventario Nacional – Nivel 2: Fluctuaciones recientes																		x		x

**Tabla 4 (cont.). NIVEL 3. Cronograma tentativo de actividades (subdivididas en cuatrimestres) para la realización de los estudios correspondientes al Nivel 3 del Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial.**

Tareas – Nivel 3	1er año				2do año				3er año				4to año				5to año			
Organización de reunión para presentación y discusión de metodologías	x				x				x				x				x			
Organización y capacitación del personal en técnicas específicas del Nivel 3 de detalle	x	x	x	x	x	x			x	x			x	x			x			
Identificación de cuerpos de hielo representativos para cada región del país	x	x	x	x																
Adquisición del instrumental hidro-glacio-meteorológico necesario		x	x			x	x			x	x			x	x			x	x	
Tareas de campo: Instalación y verificación de instrumental, colecta de datos, mapeos plani-altimétricos detallados de cuerpos de hielo, determinaciones de balances de masa				x	x	x		x	x	x			x	x	x		x	x	x	
Cálculos y análisis de resultados en gabinete						x	x			x	x			x	x			x	x	
Publicación de resultados preliminares, estudios detallados de cuerpos de hielo representativos para cada región del país								x	x				x	x			x	x		x
Publicación oficial del Inventario Nacional – Nivel 3: Monitoreo y estudios detallados																			x	x



Cartel informativo, Seccional Lago Viedma, Parque Nacional Los Glaciares, Santa Cruz



Glaciar Viedma, Santa Cruz

## Presupuesto

### 13. Presupuesto

El Inventario Nacional de glaciares y crioformas constituye el primer intento de mapear y monitorear los cuerpos de hielo que actúan como reservas estratégicas de recursos hídricos en el territorio nacional. Es por ello una tarea sin precedentes en Argentina, la cual deberá enfrentar múltiples desafíos. Es importante mencionar que existen algunas fuentes de incertidumbre a la hora de estimar los costos del Inventario Nacional, tales como las relacionadas con la vida útil de los equipos a emplear, la posibilidad de concretar los objetivos propuestos en cada campaña a las zonas de estudio, así como determinar con precisión los tiempos requeridos para realizar las mediciones necesarias, entre otras.

La concreción del Inventario se sustenta fundamentalmente en la disponibilidad de personal capacitado para su ejecución, la provisión de equipamiento digital y software para el procesamiento de los datos, la disponibilidad de imágenes satelitales, la instalación de instrumental de medición meteorológico e hidro-glaciológico, la concreción de las tareas de campo para validar el Inventario realizado en gabinete a partir de imágenes satelitales, y la colección de información hidro-climatológica relevante al Inventario Nacional.

Se presenta a continuación un presupuesto que considerando las incertidumbres mencionadas busca obtener una estimación del costo total del Inventario Nacional. Cabe aclarar que los costos indicados para algunos ítems podrían sufrir modificaciones al momento de su implementación final.

#### 13.1. Personal

Dada la estructura inter-institucional planteada para la ejecución del Inventario Nacional, el personal debería ser compartido por instituciones nacionales y provinciales. Inicialmente, y de acuerdo a lo establecido en el punto **8. Organización del personal** del Cronograma, se ha planificado la incorporación de **Profesionales a Cargo del Inventario (Nivel A)** distribuidos de la siguiente forma:

Especialidad (Nivel A)	Tareas a realizar	Dedicación	Profes. incorp.	Salario mensual (anual) en \$	Total anual (en \$)
<b>Geología, Geografía, Cartografía digital, Geofísica, Ingeniería Hidráulica</b>	Procesamiento de imágenes, identificación y mapeos de cuerpos de hielo, extracción de parámetros morfométricos básicos, relevamiento de variables ambientales y control de campo	Tiempo completo	6 (seis)	6.500 (84.500)	507.000.-

El sistema abierto de ejecución propuesto para la elaboración del Inventario Nacional a través de la participación de especialistas de distintas instituciones científicas y académicas del país, requiere de una coordinación informática altamente eficiente. Esta propuesta redundará en enormes beneficios operativos con mayor rapidez de ejecución y con una enorme reducción en los gastos de funcionamiento. Como se indica en el punto **10. Organización de la base de datos del Inventario**, se pretende trabajar a través de un sistema informático que integre en tiempo real todos los grupos que participan de la ejecución del Inventario Nacional. Esta tarea estará a cargo de un profesional con experiencia en herramientas informáticas, específicamente en el diseño, desarrollo, implementación y mantenimiento de sistemas de organización de bases de datos geográficos online.

Especialidad (Nivel A)	Tareas a realizar	Dedicación	Profes. incorp.	Salario mensual en \$	Total (en \$)
<b>Analista de Sistemas o equivalente</b>	Manejo de información y coordinación digital del Inventario Nacional	Tiempo completo	1 (uno)	6.500.-	84.500.-

Este grupo básico (o Núcleo Básico) de siete Profesionales del Inventario (Nivel A) es insuficiente para la ejecución de todo el trabajo que implica el Inventario Nacional. Es fundamental que este Núcleo Básico de Profesionales se vea enriquecido a través de profesionales de las especialidades señaladas provistos por los Gobiernos Provinciales. Como ejemplo podemos mencionar el caso de la Provincia de Mendoza, donde el Gobierno ha acordado a través de un Convenio específico con CONICET, aportar los recursos económicos para contratar dos Profesionales Nivel A para la ejecución del Inventario de Glaciares de la Provincia. Arreglos similares deberán establecerse con otras provincias cordilleranas de modo de contar con un plantel que, aún cuando fluctúe temporalmente, implique el trabajo total de 13-15 Profesionales del Inventario Nivel A con dedicación exclusiva durante el año. De este total, siete corresponderían a miembros permanentes del Núcleo Básico y los seis a ocho restantes deberían ser empleados con recursos provinciales.

Los **Directores Técnicos de Inventario (Nivel B)** serán los especialistas del IANIGLA u otras instituciones científicas nacionales, internacionales, o provinciales que reciben salarios de CONICET, Universidades Nacionales, o sus respectivas Instituciones y sus salarios no deberán ser considerados en este presupuesto. Sin embargo, se considera aconsejable incentivar en esta comunidad de expertos el interés en participar de la elaboración del Inventario. Para ello se recomienda que los Directores Técnicos de Inventario reciban una suma equivalente a la de los Revisores del Inventario por las tareas desarrolladas. Se establecerá un monto fijo por sub-cuenca inventariada. Para el cobro de estos montos, los investigadores y profesionales del CONICET que participen de estas actividades deberán regirse de acuerdo a las reglas ya establecidas por dicha institución. En base a las sub-cuencas



propuestas en la organización del Cronograma y los 5 años establecidos para el desarrollo del Inventario Nacional, se estiman inventariar entre 16 y 20 sub-cuencas por año.

Especialidad (Nivel B)	Tareas a realizar	Informes técnicos en el 1 <sup>er</sup> año	Estipendio asignado por revisión (en \$)	Total (en \$)
<b>Investigadores nacionales y/o internacionales con probada experiencia y trayectoria en estudios de inventario de glaciares</b>	Dirigir las tareas realizadas por los Profesionales de Inventario (Nivel A), responsable técnico final del Inventario	20	4.000.-	80.000.-

Los costos relacionados con la revisión técnica crítica de los informes elaborados por los directores técnicos y profesionales del Inventario están relacionados con los estipendios que deberá pagarse a los **Revisores del Inventario (Nivel C)**, especialistas reconocidos internacionalmente por su experiencia en el tema, encargados de proponer correcciones o modificaciones, y dar el aval a las tareas de inventario realizadas por el personal de los Niveles A y B. En base a las sub-cuencas propuestas en la organización del Cronograma y los 5 años establecidos para el desarrollo del Inventario Nacional, se estiman inventariar entre 16 y 20 sub-cuencas por año.

Especialidad (Nivel C)	Tareas a realizar	Informes técnicos en el 1 <sup>er</sup> año	Estipendio asignado por revisión (en \$)	Total (en \$)
<b>Investigadores nacionales y/o internacionales con probada experiencia y trayectoria en estudios de inventario de glaciares</b>	Revisión crítica de los informes elaborados por los directores técnicos (Nivel B) y profesionales del Inventario (Nivel A)	20	4.000.-	80.000.-

El **Coordinador de Inventario (Nivel D)**, con atribuciones de “Gerente” es el encargado del control y coordinación de las tareas realizadas por el personal de los Niveles A, B y C dentro de las instituciones involucradas en la ejecución del Inventario y entre las distintos grupos en el país.

Especialidad (Nivel D)	Tareas a realizar	Dedicación	Profes. incorp.	Salario estimado mensual (en \$)	Total (en \$)
<b>Gerente con experiencia administrativa en instituciones científicas o académicas</b>	Coordinar, facilitar y controlar las tareas administrativas, logísticas y financieras concernientes al proyecto de inventario de glaciares	Tiempo completo	1 (uno)	7.500.-	97.500.-

### **Costo Total Personal. Primer Año**

Si bien se presenta un costo estimativo de personal por año, este podría variar significativamente en función de los aportes de personal que podrían aportar instituciones nacionales de los ámbitos científico-técnico y/o ambiental, así como de los aportes de personal por parte de las provincias involucradas en el Inventario Nacional.

1. Personal	Número de integrantes	Costo total anual (en \$)
Nivel A	7 (siete)	593.500.-
Nivel B	variable	80.000.-
Nivel C	variable	80.000.-
Nivel D	1 (uno)	97.500.-
Nivel E	Director IANIGLA	Sin cargo
<b>Total Salarios 1<sup>er</sup> Año</b>		<b>851.000.-</b>

### 13.2. Costos de Operación

A continuación se detallan los gastos de operación para el primer año de ejecución del Inventario Nacional. Los mismos han sido agrupados en función de la estrategia jerárquica de ejecución descrita en el punto **7. Estrategia de monitoreo jerárquico**, que establece tres niveles de ejecución.

#### 13.2.1. Presupuesto Nivel 1: *Identificación, mapeo y caracterización de los glaciares y crioformas que actúan como reservas hídricas en el territorio nacional*

##### A. Equipamiento

1 – Procesamiento de imágenes empleando computadoras con capacidad para el manejo y digitalización de imágenes satelitales.

Ítem	Cantidad	Costo Total (en \$)
<b>Computadoras</b>	6 (seis)	30.000.-
<b>Impresora laser color</b>	1 (una)	3.000.-

2 – Mobiliario incluyendo escritorios y estantes.

Ítem	Cantidad	Costo Total (en \$)
<b>Escritorios y bibliotecas</b>	6 (seis)	3.600.-

3 – Software para procesamiento de imágenes satelitales y la digitalización de glaciares y crioformas (licencias). Se estima que los softwares necesarios son al menos dos, uno para el procesamiento de imágenes satelitales (ENVI, PCI Geomatics) y el otro para realizar la digitalización (ArcMap, ArcGIS). En todos los casos se especifica uno de ellos.

Software	Costo Unitario (en \$)	Cantidad	Costo Total (en \$)
<b>ENVI (incluyendo los módulos: Rigorous Orthorectification, DEM extraction)</b>	ENVI	30.600	1
	Rig. Orthorectific.	40.000	1
	DEM extraction	14.000	1
<b>ArcGIS</b>		22.000	
<b>Total Software Nivel 1</b>			<b>106.600.-</b>

4 – La adquisición de la información existente en las fotografías aéreas o mapas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) se realizara empleando un escáner de alta resolución que además permita el manejo de documentos cartográficos con tamaño superior a páginas formato A3. Asimismo será imprescindible contar con un plotter de alta resolución para la preparación de la cartografía en soporte papel para publicaciones y/o instituciones que así lo requieran.

Ítem	Cantidad	Costo por unidad (en \$)	Costo Total (en \$)
<b>Escáner de alta resolución para el manejo de cartografía de gran tamaño</b>	1	42.000.-	42.000.-
<b>Plotter de alta resolución para la elaboración de cartografía en soporte papel</b>	1	25.000.-	25.000.-
<b>Total equipamiento gráfico</b>			67.000.-

5 - GPS diferenciales. En todas las regiones del país, y en la mayor cantidad de subcuencas posible, se realizarán periódicamente relevamientos y determinaciones de campo junto con mediciones de GPS en modo diferencial para proporcionar información independiente planimétrica y altimétrica de los mapeos realizados en gabinete. Se emplearán 2 pares de equipos GPS con capacidad para el procesamiento de datos en modo diferencial en este Nivel.

Ítem	Cantidad	Costo por unidad (en \$)	Costo Total (en \$)
<b>GPS diferencial</b>	2	44000.-	88.000.-

## B. Adquisición de Imágenes

Si bien IANIGLA, a través de convenios nacionales con CONAE e internacionales con GLIMS, tiene acceso sin cargo a imágenes LANDSAT y ASTER de hasta 15 m de resolución, en muchos casos este nivel de resolución resulta insuficiente para la correcta identificación y mapeo de crioformas de reducidas dimensiones. Por ello será necesario complementar las imágenes LANDSAT-ASTER con imágenes de mayor resolución (<10 m) sobre todo en los sectores con predominancia de glaciares de escombros. Los requerimientos de bases cartográficas para el Nivel 1 durante el 1er año del Inventario y por región de trabajo propuesta se detallan a continuación.

Material cartográfico	Precio unitario (en \$)	Cantidad y/o superficie por región					Total	Costo Total (en \$)
		Andes Desérticos	Andes Centrales	Andes N. Patagonia	Andes S. Patagonia	T.Fuego e Islas Atl. Sur		
<b>Imágenes satelitales ASTER Landsat</b>	Sin cargo convenio CONAE-GLIMS	30 14	30 14	25 15	30 13	5 3	120 59	Sin cargo
<b>Imágenes de alta resolución IKONOS/ QuickBird,</b>	nueva \$120 archivo \$70	180 km <sup>2</sup>	180 km <sup>2</sup>	40 km <sup>2</sup>	60 km <sup>2</sup>	40 km <sup>2</sup>	500 km <sup>2</sup>	60.000.- 28.000.-
<b>ALOS</b>	\$500	40	30	30	30	5	135	67.500.-
<b>Cartografía IGN</b>	\$350	10	6	12	12	4	44	15.400.-
<b>Fotografías aéreas IGN</b>	\$45	90	90	60	60	40	340	15.300.-
<b>Total base cartográfica Nivel 1</b>								186.200.-

## C. Control de Campo

Esta etapa del Inventario es requerida para verificar en el campo la interpretación y digitalización de los cuerpos de hielo inventarios de cada región, identificando a su vez posibles falencias y/o maneras de mejorar la eficiencia y precisión de los trabajos en futuras actualizaciones.

### 1 - Movilidad

Se propone para cada subcuenca inventariada un promedio de 20 días de terreno con los propósitos de validación ya mencionados. Cada grupo de trabajo, incluyendo los profesionales a cargo del inventario, director y revisor del Inventario Nacional dispondrá en promedio de 20-25 días de movilidad por subcuenca inventariada. En base a la propuesta de inventariar unas 16-20 subcuencas durante el 1er año, se requieren 400-500 días de trabajo de campo. En base a estas estimaciones se estima la necesidad de contar con 4 vehículos (125 días de ocupación por vehículo por año) tipo 4x4 para el transporte de 4-5 personas por cuenca. Con excepción de algunos sectores del Noroeste Argentino, el acceso a las áreas a inventariar está limitado al periodo anual libre de nieve, que en la mayoría de los sitios se extiende desde mediados de Diciembre a mediados de Abril. Esto limita el uso de los vehículos a solo cuatro meses por año. La coordinación a nivel nacional del uso de los vehículos entre los distintos grupos que participarán de la ejecución del inventario estará a cargo del Gerente del Inventario Nacional.

Ítem	Cantidad	Costo por unidad (en \$)	Costo Total (en \$)
<b>Vehículos tipo 4x4, con capacidad para transportar 5 personas</b>	4	160.000.-	640.000.-

Si bien estos vehículos deberán adquirirse durante el primer año del Inventario, se estima que los mismos tendrán una amortización de 10 años, lo que representa un costo total anual de movilidad de aproximadamente \$ 64000.-

2 - Gastos de Movilidad, a razón de 150 km por día, asumiendo una eficiencia de 10 litros por 100 km, equivale a 15 litros/día, por 500 días, representa un total de 7500 litros/año.

Ítem	Combustible	Costo Total (en \$)
<b>Total Anual de movilidad</b>	7.500 litros x \$ 3,6	27.000.-

3 - Gastos de Mantenimiento (service de motor, control de neumáticos), a razón de 150 km/día x 125 días, equivale a aproximadamente 20000 km por año por vehículo. Asumiendo un service cada 10000 km, implicaría 2 services por vehículo por año.

Ítem	Cantidad	Costo por unidad (en \$)	Costo Total (en \$)
<b>Servicio de mantenimiento de vehículos</b>	2 x vehículo x año	2 x 1.500.-	12.000.-

Se incluye también en este rubro de Control de Campo los costos de campañas de terreno con el propósito de validar los inventarios realizados, evaluar el desempeño de distintas técnicas de procesamiento de la información satelital, y comparar la sensibilidad de las diversas imágenes utilizadas. Estos costos se desglosan en 4 ítems a saber:

4 - Alquiler de mulas y pago de arrieros para sectores de difícil acceso. Los costos fueron estimados sobre la base de 2 viajes por región, a razón 4 caballos (o mulas) de carga y 2 caballos para los guías.

Ítem	Cantidad	Costo por región (en \$)	Costo Total (en \$)
<b>Alquiler de mulas y servicio de arrieros</b>	2 viajes x región	2 x 4.000.-	40.000.-

5 – Viáticos para cubrir costos de trabajo de campo, estimados en base a grupos de trabajo de 4 personas y un total anual de 450 días en el campo.

Ítem	Viatico por persona (en \$)	Número total de días	Costo Total (en \$)
<b>Viáticos para trabajos de campo</b>	150	450 días x 4 personas = 1.800 días	270.000.-

6 – Vestimenta y equipos de alta montaña. Se incluyen en este ítem los costos de vestimenta, equipos de seguridad en montaña y seguros personales. Además se incluyen equipos personales necesarios para la realización de los terrenos de manera segura.

Ítem	Cantidad	Costo por unidad (en \$)	Costo Total (en \$)
<b>Carpas</b>	2	2.800	5.600.-
<b>Piquetas, arneses, cascos, grampones</b>	5	2.600	13.000.-
<b>Cuerdas de seguridad</b>	2	1.000	2.000.-
<b>Equipo personal (bolsa de dormir, colchoneta, mochila, campera, polar, cubre- pantalón, botas de treking, botas rígidas para hielo, guantes)</b>	5	7.600	38.000.-
<b>Equipos accesorios (linternas, calentadores)</b>	5	400	2.000.-
<b>Equipos de comunicación (radios, alquiler de teléfonos satelitales)</b>	5	5.000	25.000.-
<b>Varios(cintas/mosquetones/tornillos/aseguradores/rapeladores)</b>			3.000.-
<b>Total equipamiento de alta montaña</b>			88.600.-

#### D. Elaboración de informes y publicaciones

Gastos asociados a la elaboración de informes y publicación de los Inventarios por subcuencas hidrológicas durante el primer año del Inventario Nacional.

Ítem	Cantidad	Costo por unidad (en \$)	Costo Total (en \$)
<b>Informes y publicaciones</b>	20	2.500.-	50.000.-

### **Costo Total de Operación para Nivel 1 durante el Primer Año del Inventario Nacional**

Costos de Operación Nivel 1	
	Total anual (en \$)
<b>A. Equipamiento</b>	
Procesamiento de imágenes (computadoras)	33.000.-
Mobiliario	3.600.-
Software	106.600.-
Equipamiento gráfico	67.000.-
GPS diferencial	88.000.-
<b>B. Imágenes satelitales y fotografías aéreas</b>	186.200.-
<b>C. Control de Campo</b>	
Movilidad (4 vehículos 4x4)	640.000.-
Combustible	27.000.-
Mantenimiento	12.000.-
Alquiler de mulas y pago de arrieros	40.000.-
Viaticas personal en tareas de campo	270.000.-
Equipos de alta montaña (seguridad, vestimenta, comunicación)	88.600.-
<b>D. Informes y Publicaciones</b>	50.000.-
<b>Costo Total Nivel 1 Primer Año</b>	<b>1.612.000.-</b>

#### ***13.3.Presupuesto Nivel 2. Estudio de fluctuaciones recientes (últimos años/décadas) de cuerpos de hielo seleccionados***

Se propone iniciar el estudio de las fluctuaciones de glaciares y crioformas a nivel nacional utilizando toda la información disponible a la fecha (año 2010). La información obtenida hasta el año 2010 se archivará en registros complementarios de cada unidad que se sumarán a los datos obtenidos en el Nivel 1 para cada sitio. Posteriormente, en base a los inventarios de los años 2010, 2015 y 2020, se completará para el año 2020 el primer estudio de variaciones decenales de cuerpos de hielo a escala nacional.

Es importante destacar que si bien los datos adquiridos en el Nivel 1 serán utilizados en los estudios de Nivel 2, los costos aquí considerados son adicionales a los de Nivel 1, e incluyen un monitoreo más detallado y de mayor frecuencia para los 60 cuerpos de hielo incluidos en este nivel.

##### **A. Equipamiento**

1 – Procesamiento de imágenes empleando computadoras con capacidad para el manejo y digitalización de imágenes satelitales.

Ítem	Cantidad	Costo Total ( en \$)
Computadoras	2 (dos)	10.000.-

2 – Mobiliario incluyendo escritorios y estantes.

Ítem	Cantidad	Costo Total ( en \$)
Escritorios y bibliotecas	2 (dos)	1.200.-

3 – Software para procesamiento de imágenes satelitales y la digitalización de glaciares (licencias). Se estima que los softwares necesarios son al menos tres, uno para el



procesamiento de imágenes satelitales (ENVI, PCI Geomatics), otro para realizar la digitalización (ArcMap, ArcGIS), y uno para el análisis de datos científicos (Matlab y/o SPSS).

Software	Costo Unitario (en \$)	Cantidad	Costo Total (en \$)
<b>ENVI (incluyendo los módulos:</b>	ENVI	30.600	1
<b>Rigorous Orthorectification, DEM</b>	Rig. Orthorectific.	40.000	1
<b>extraction)</b>	DEM extraction	14.000	1
<b>ArcGIS</b>		22.000	22.000.-
<b>Matlab/SPSS</b>		4.500	1
<b>Total Software Nivel 2</b>			111.100.-

Los costos operativos asociados a los ítems **B.** Adquisición de Imágenes Satelitales y Fotografías Aéreas y **C.** Control de Campo en el Nivel 2 (fluctuaciones) propuesto han sido considerados para este primer año del Inventario Nacional dentro del Nivel 1 y por lo tanto no se incluyen en este Nivel. Asimismo, no están planificados durante el Primer Año del Inventario la elaboración de Informes en el contexto del Nivel 2 (ítem **D**). Se estima realizar una publicación de las fluctuaciones de glaciares en Argentina hasta el año 2010, recopilando la información disponible en el país, durante el tercer año de iniciado el presente proyecto del Inventario Nacional.

### **Costo Total de Operación para Nivel 2 durante el Primer Año del Inventario Nacional**

Costos de Operación Nivel 2	
	Total anual (en \$)
<b>A. Equipamiento</b>	
<b>Procesamiento de imágenes (computadoras)</b>	10.000.-
<b>Mobiliario</b>	1.200.-
<b>Software</b>	111.100.-
<b>Costo Total Nivel 2 Primer Año</b>	122.300.-

### ***13.4. Presupuesto Nivel 3. Estudio detallados de cuerpos de hielo seleccionados en las distintas regiones del país***

Con el fin de estimar el volumen de hielo, la dinámica interna, y la evolución temporal en respuesta a las variaciones climáticas de los cuerpos de hielo, en el Nivel 3 se proponen una serie de estudios detallados que van desde la determinación de la topografía superficial de precisión de los glaciares hasta el establecimiento de sus balances de masa, de energía e hidrológico. Asimismo, este Nivel incluye el monitoreo de la capa activa y transicional en glaciares de escombros. El costo de estos estudios depende del tipo de cuerpo de hielo a estudiar (glaciar descubierto o glaciar de escombros) y de la accesibilidad de los mismos. En este nivel se ha planificado el estudio detallado de 8 cuerpos de hielo tal como se indica en el punto **9.3. NIVEL 3**. En este primer año serán instrumentados dos de los cinco glaciares propuestos para la determinación de los balances de masa, energético e hidrológico. Asimismo, durante este primero año se instrumentará un glaciar de escombros para monitoreo de capa activa. Gradualmente se irán incorporando los sitios restantes para lograr el objetivo de monitorear simultáneamente 8 sitios al quinto año del Inventario Nacional.

## A. Equipamiento

1 – Soporte necesario para el procesamiento de imágenes satelitales, modelamiento matemático, y análisis de datos científicos en tareas de laboratorio complementado con equipos portátiles de terreno para tareas de configuración de sistemas de monitoreo hidrometeorológicos y recolección de datos de campo.

Ítem	Cantidad	Costo Total ( en \$)
<b>Computadora de oficina</b>	1	5.000.-
<b>Computadora portátil</b>	2	11.000.-
<b>Total computadoras</b>		16.000.-

2 – Mobiliario incluyendo escritorios y estantes.

Ítem	Cantidad	Costo Total ( en \$)
<b>Escritorios y bibliotecas</b>	1	\$ 600.-

3 – Software (licencias). Se estima que los softwares necesarios son al menos cinco, para el procesamiento de imágenes satelitales (ENVI, PCI Geomatics), para realizar la digitalización (ArcMap, ArcGIS), para el análisis de datos científicos (Matlab y/o SPSS), para el manejo de datos de GPS (GrafNav, GeoGenius), para colección en campo y análisis de datos hidrometeorológicos y finalmente para adquisición y manejo de datos de radar (GPR).

Software	Costo Unitario (en \$)		Cantidad	Costo Total (en \$)
<b>ENVI (incluyendo los módulos: Rigorous Orthorectification, DEM extraction)</b>	ENVI	30.600	1	
	Rig. Orthorectific.	40.000	1	
	DEM extraction	14.000	1	84.600.-
<b>ArcGIS</b>		22.000		22.000.-
<b>Matlab/SPSS</b>		4.500	1	4.500.-
<b>GrafNav/GeoGenius</b>		9.600	1	9.600.-
<b>EVARSA/Box Pro</b>		1.800	2	3.600.-
<b>Radar</b>		9.600	1	9.600.-
<b>Total Software Nivel 3</b>				133.900.-

4 – Monitoreo hidro-climatológico para establecer las relaciones entre parámetros ambientales y fluctuaciones de los cuerpos de hielo, determinar los balances de masa, energéticos e hidrológicos. Cada uno de los sitios propuestos en este nivel deberá contar con una estación meteorológica de alta montaña equipada para mediciones de temperatura, precipitación líquida y sólida (nieve), presión atmosférica, dirección y velocidad del viento y radiación solar. Una estación fluviométrica determinará el caudal emergente de los cuerpos de hielo. En el caso de las estaciones meteorológicas y fluviométricas, dado el difícil acceso a la mayoría de los sitios de monitoreo y el largo período de recurrencia de las visitas de terreno a cada lugar, se las equipará con un sistema que permita salvaguardar la información recopilada (datalogger) y hacer más oportunas las campañas de mantenimiento.

Ítem	Cantidad	Costo por unidad (en \$)	Costo Total (en \$)
Estación meteorológica	3	96.000	288.000.-
Estación fluviométrica	3	26.000	78.000.-
Perforadora de hielo	2	3.900	7.800.-
Termistores, dataloggers, baterías	8	1.500	12.000.-
Tubo Monte Rosa (muestreo de nieve)	1	3.600	3.600.-
Herramientas varias (palas, picos, pinzas)			3.700.-
Radar GPR	1	160.000	160.000.-
<b>Total equipamiento hidro-glacio-meteorológico</b>			<b>553.100.-</b>

## B. Trabajos de Campo

Se incluye también en este rubro del presupuesto los gastos de campañas de terreno con el propósito de instalar las estaciones meteorológicas y fluviométricas, coleccionar la información hidrometeorológica, el levantamiento GPR (topografía subglaciar y estructura), mediciones con GPS diferencial, evaluar el desempeño de distintas técnicas de medición y colección de la información de campo.

1 - El apoyo logístico para el traslado, instalación, y mantenimiento de las estaciones meteorológicas y fluviométricas requiere contar con el apoyo de helicópteros. Un técnico electromecánico apoyará la colocación, calibración y mantención de los equipos en terreno. Finalmente, se necesita la ayuda de peones con experiencia en construcción para realizar las obras de arte necesarias para la instalación de las estaciones fluviométricas.

Ítem	Horas de servicio	Costo unitario (en \$)	Costo Total ( en \$)
Servicio de helicópteros	6	4000	24.000.-
Apoyo técnico eléctrico-mecánico	24	300	7.200.-
Construcción de obras de arte	96	200	19.200.-
<b>Costo total apoyo logístico 1er año</b>			<b>50.400.-</b>

2 - Alquiler de mulas y pago de arrieros para traslado de equipos, personal y materiales para construcción obras de arte (hormigón, hierro, ladrillos). Los costos fueron estimados sobre la base de 1 viaje por sitio, a razón 8 caballos (o mulas) de carga y 2 caballos para los guías.

Ítem	Cantidad	Costo por sitio (en \$)	Costo Total (en \$)
Alquiler de mulas y servicio de arrieros	3 viajes	3 x 4.500.-	13.500.-

3 – Viáticos para cubrir costos de trabajo de campo durante colocación de equipos, estimados en base a grupos de trabajo de 4 personas y 7 días por sitio.

Ítem	Viatico por persona (en \$)	Número total de días	Costo Total
Viáticos para trabajos de campo	\$ 150	3sitios x 7 días x 4 personas = 84 días	12.600.-

### C. Construcción de obras de arte

Las mismas están destinadas a facilitar la colocación de los fluviómetros y la medición de caudales. Dependiendo de las particularidades del sitio se emplea una combinación de piedras, hormigón, hierros, ladrillos y perfiles de hierro.

Ítem	Costo por sitio (en \$)	Costo Total (en \$)
Materiales para la construcción de obras de arte	12.500	37.500.-

### D. Elaboración de informes y publicaciones

Costos asociados a la elaboración de informes y publicación de los estudios incluidos en el Nivel 3. No están planificados durante el Primer Año del Inventario. Se estima una publicación de los balances de masa, energéticos e hidrológicos al cumplirse 4 años de monitoreo, por lo cual los informes de los estudios propuestos en el Nivel 3 se realizarán a partir del quinto el año del Inventario Nacional.

#### **Costo Total de Operación para Nivel 3 durante el Primer Año del Inventario Nacional**

Costos de Operación Nivel 1	
	Total anual (en \$)
<b>A. Equipamiento</b>	
Procesamiento de imágenes y toma de datos en campo (computadoras)	16.000.-
Mobiliario	600.-
Software	133.900.-
Equipamiento hidro-glacio- meteorológico	553.100.-
<b>B. Control de Campo</b>	
Apoyo logístico (helicópteros, servicios de terceros)	50.400.-
Alquiler de mulas y pago de arrieros	13.500.-
Viaticas personal en tareas de campo	12.600.-
<b>C. Construcción de obras de arte</b>	37.500.-
<b>Costo Total Nivel 3 Primer Año</b>	<b>817.600.-</b>

### **13.5. Presupuesto Final Primer Año Inventario Nacional de Glaciares y Crioformas**

Rubro	Total anual (en \$)
<b>Personal</b>	<b>851.000.-</b>
<b>Nivel 1</b>	<b>1.612.000.-</b>
<b>Nivel 2</b>	<b>122.300.-</b>
<b>Nivel 3</b>	<b>817.600.-</b>
<b>Total Primer Año</b>	<b>3.402.900.-</b>



Cerro y Glaciar Solo, Cerro Torre, Santa Cruz

## Referencias

### 14. Referencias

- Aguado, C. J. 1982. Inventario de glaciares de la cuenca del Río de los Patos. Provincia de San Juan.
- Aguado, C. J. 1983. Comparación del inventario de glaciares de la cuenca del río de Los Patos con otros inventarios de los Andes Centrales de Argentina, con énfasis en glaciares de escombros. Actas de la primera reunión del grupo periglacial Argentino(Ed<sup>^</sup>). IANIGLA-CONICET. Mendoza. 1. 3-87 pp.
- Ahumada, A. L., G. P. Ibáñez Palacios, et al. 2002. Inventario de glaciares de escombros en la ladera oriental de la Sierra del Aconquija, Tucumán, Argentina. XV Congreso Geológico Argentino. Actas. Calafate, Argentina. SEGEMAR. 4 pp.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G, Páez, S. V. 2005. Los glaciares de escombros en el NW argentino, acuíferos de altura en riesgo ante los cambios globales. CONAGUA 2005, Mendoza.
- Ahumada, A. L., G. P. Ibáñez Palacios, et al. 2009. El permafrost andino, reducto de la criósfera en el borde oriental de la Puna, NO de Argentina. XXIV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Mendoza, Argentina. 250-255 pp.
- Andreassen, L.M., Elvehøy, H., Kjøllmoen, B. (2002.) Using aerial photography to study glacier changes in Norway Annals of Glaciology 34: 343-348.
- Angillieri, Y. (2008). A preliminary inventory of rock glaciers at 30°S latitude, Cordillera Frontal of San Juan, Argentina Quaternary International 195 (2009), 151–157.
- Berthier, E., Arnaud, Y., Baratoux, D., Vincent, C., and Remy, F, 2004. Recent rapid thinning of the “Mer de Glace” glacier derived from satellite optical images, Geophys. Res. Lett., 31, L17401, doi:10.1029/2004GL020706.
- Bertone, M. 1960. Inventario de los glaciares existentes en la vertiente Argentina entre los paralelos 47°30' y 51° S 3. Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico. Buenos Aires, Argentina. 103 p.
- Bishop, M.P., Olsenholler, J. A., Shroder, J. F., Barry, R. B., Raup, B. H., Bush, A. B. G., Copland, L., Dwyer, J. L., Fountain, A. G., Haeberli, W., Kääb, A., Paul, F., Hall, D. K., Kargel, J. S., Molnia, B. F., Trabant, D. C. Wessels, R. (2004) Global Land Ice



- Measurements from Space (GLIMS) Remote Sensing and GIS investigations on the Earth's cryosphere. *Geocarto International* 19, 57-89.
- Brenning, A. (2009) Benchmarking classifiers to optimally integrate terrain analysis and multispectral remote sensing in automatic rock glacier detection. *Remote Sensing of Environment* 113 (2009) 239–247
- Cabrera, G.A., Leiva, J.C., y colaboradores. 2008. Monitoreo de glaciares Los Amarillos y Amarillo, Pascua-Lama, Chile-Argentina. Informe CONICET "Amarillos", 59 pp.
- Cabrera, G.A., Leiva, J.C., y colaboradores. 2009. Monitoreo de glaciares del Paso de Conconta, Iglesia, San Juan, Argentina. Informe IMA U.N. Cuyo "Conconta", 57 pp.
- Casassa, G., Smith, C., Rivera, A., Araos, J., Schnirch, M., Schneiders, C. (2002) Inventory of glaciers in isla Riesco, Patagonia, Chile, based on aerial photography and satellite imagery. *Annals of Glaciology* 34.
- Casassa, G., Rivera, A., Haeberli, W., Jones, G., Kaser, G., Ribstein, P. and C. Schneider. 2007. Editorial. Current status of Andean glaciers. *Global and Planetary Change*, 59, 1-9.
- CECS, 2009. Estrategia Nacional de Glaciares – Fundamentos. Centro de Estudios Científicos (CECS), S.I.T. N° 205, Santiago, Diciembre 2009. Tomo 1: 290 p.
- Cobos, D. 1983. Inventario de glaciares de la cuenca del Río Atuel. IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina. 29 p.
- Cobos, D. R. 1985. Inventario de los cuerpos de hielo en la cuenca del río Malargüe, Provincia de Mendoza, República Argentina. Bases para un racional manejo de los recursos naturales en ecosistemas desérticos. IANIGLA-CONICET. 20 p.
- Corte, A. E. and L. E. Espizua. 1981. Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.
- De Agostini, A.M., 1945. Andes Patagónicos, 2nd ed. Guillermo Kraft Ltda., Buenos Aires. 437 pp
- Delgado, S., M. Masiokas, et al. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. International Ice and Climate Conference. Valdivia, Chile. CECS. pp.
- Espizua, L. 1983. Glacier and moraine inventory on the eastern slopes of Cordón del Plata and Cordón del Portillo, Central Andes, Argentina. INQUA Symposia on the genesis and lithology of Quaternary deposits. USA, Argentina. 1981-1982. A. Balkema. 381-395 pp.
- Espizua, L. E. 1983. Diferencia altitudinal entre el límite inferior de los glaciares de escombros activos, entre laderas norte y sur, de los Cordones del Plata y Portillo, Provincia de Mendoza. Actas de la primera reunión del Grupo Periglacial Argentino (Ed<sup>^</sup>). IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina. 1. 79-87 pp.
- Espizua, L. 2010. Monitoring glaciers in Argentina – Status Report. workshop on “Glaciers Monitoring Strategy Current Status and Challenges. WGMS General Assembly of the National Correspondents” 1-4 septiembre 2010. Zermatt, Suiza.
- Espizua, L. E. and J. D. Bengochea. 1990. Surge of Grande del Nevado glacier (Mendoza, Argentina) in 1984: its evolution through satellite images. *Geografiska Annaler* 72 A (3-4). 255-259 pp.
- Espizua, L. and G. Maldonado 2007. Glacier variations in the Central Andes (Mendoza province, Argentina) from 1896 to 2005. Environmental change and rational water use. O. Scarpati and A. Jones (Ed<sup>^</sup>). Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. 353-366 pp.
- Espizua, L. and P. Pitte. 2009. The Little Ice Age advance in the Central Andes (35° S), Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4). 345-350 pp.

- Espizua, L. E., L. Ferri Hidalgo, et al. 2006. Ambiente y procesos glaciales y periglaciales en Lama-Veladero, San Juan, Argentina. IANIGLA. 80 p.
- Espizua, L. E., P. Pitte, et al. 2008. Horcones Inferior - Glacier surge. Fluctuations of glaciers 2000-2005 (Vol. IX). W. Haeberli, M. Zemp, A. Kääb, F. Paul and M. Hoelzle (Ed<sup>^</sup>). WGMS/ICSU (FAGS)/IUGG (IACS)/UNEP/UNESCO/WMO. Zurich, Schweiz. 43-44 pp.
- Falaschi, D., Delgado, S., Masiokas, M. 2010. 30 años de fluctuaciones glaciarias en el área del Monte San Lorenzo (47° S), Andes Patagónicos, E-ICES-6: International Center for Earth Science-Sexto Encuentro Internacional.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., and Alsdorf, D., 2007. The Shuttle Radar Topography Mission, *Rev. Geophys.*, 45, RG2004, <http://dx.doi.org/10.1029/2005RG000183>, 2015, 2020, 2027
- Gruber, S. and Haeberli, W., 2009. Mountain Permafrost, in *Permafrost Soils* (ed) R. Margesin, *Soil Biology* 16. Springer-Verlag Berlin. 33-44p.
- Haeberli, W., 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich*, 77.
- Haeberli, W., Cihlar, J. and R. Barry. 2000. Glacier monitoring within the Global Climate Observing System. *Annals of Glaciology*, 31, 241-246.
- Haeberli, W., Maisch, M. and F. Paul. 2002. Mountain glaciers in global climate-related observation networks. *WMO Bulletin*, 51(1), 18-25.
- Hauthal, R., 1904. Gletscherbilder aus der argentinischen Cordillera. *Zeitschrift des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins* 35,30–56.
- Igarzabal, A. P. 1981. El sistema glaciolítico de la cuenca superior del río Juramento, provincia de Salta. VIII Congreso Geológico Argentino. 167-183 pp.
- Igarzabal, A. P. 1984. Comportamiento hidrológico de las turberas de montaña con estructuras criogénicas en las regiones de Puna y Cordillera Oriental. 2° Reunión grupo periglacial argentino. San Juan, Argentina. 3-6 abril 1984. IANIGLA-CONICET. 107-115 pp.
- Ikeda A., and Matsuoka, N., 2002. Degradation of Talus-derived Rock Glaciers in the Upper Engadin, Swiss Alps. *Permafrost Periglac. Process.*, 13:145–161, 2002.
- Iturraspe, R., Iturraspe, R. 2010. Categorización de cuencas de Tierra del Fuego según su vulnerabilidad a la recesión glaciaria en base al balance de masa y el inventario de glaciares. Seminario “Tecnología Satelital para reducir la Incertidumbre de los Escenarios Climáticos e Hidrológicos – identificación y monitoreo de Glaciares”, CONAE, Barreal, San Juan, 9-13 Agosto 2010.
- Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008, Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database (<http://srtm.csi.cgiar.org>).
- Kääb, A., Huggel, C., Paul, F., Wessels, R., Raup, B., Kieffer, H., Kargel, J. (2003) Glacier monitoring from ASTER imagery; accuracy and applications. *EARSEL Proceedings, LISSIG Workshop*, 11-13 March 2002, Berne, vol 2 43-53.
- Khalsa, S. J. S., Dyurgerov, M. B., Khromova, T., Raup, B.H., Barry, R. G., (2004) Space-based mapping of glacier changes using ASTER and GIS tools. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 42 (10) 3177-2182.
- Larsen, C. F., Motyka, R. J., Arendt, A. A., Echelmeyer, K. A., and Geissler, P. E., 2007. Glacier 20 changes in southeast Alaska and northwest British Columbia and contribution to sea level rise, *J. Geophys. Res.-Earth Surface*, 112, F01007, doi:10.1029/2006JF000586, <http://dx.doi.org/10.1029/2006JF000586>, 2007. 2020

- Leiva, J.C., (1999): "Recent fluctuations of the argentinian glaciers". *Global and Planetary Change*, 22(1999) 169-177. ISSN 0921-8181
- Leiva, J.C. (2006): "Assesment Climate Change Impacts on the Water Resources at the Northern Oases of Mendoza Province, Argentine". En "Global Change in Mountain Regions". Edited by Martin Price. Sapiens Publishing. 343 páginas. Wiltshire, Gran Bretaña. p. 81-83.
- Leiva, J.C (2007): Impacts of the Climatic Change on the hydric resources of the cordillera de Los Andes. a study case: evidences, forecasting and consequences in the upper basin of the Mendoza river". En " Environmental change and rational water use"; Scarpati, O. E. and J.A .A. Jones (eds).. Orientación Gráfica Editora S.R.L., Buenos Aires, 458 páginas. ISBN 978 987 9260 46 3 Pag. 377-385
- Leiva, J.C. (2010.) Comunicación personal.
- Leiva, J.C., L.E. Lenzano, G.A. Cabrera and J.A. Suarez (1989): "Variations of the Río Plomo glaciers, Andes Centrales Argentinos". Publicado en J. Oerlemans (ed), *Glacier Fluctuations and Climatic Change*, pág. 143 - 151, (1989). 417 páginas. Kluwer Academic Publishers, dordrecht, HOLANDA. ISBN 0-7923-0110-2
- Leiva, J.C.; G.A. Cabrera and L.E .Lenzano, (2007): "20 years of mass balances on the Piloto glacier, Las Cuevas river basin, Mendoza, Argentina". *Global and Planetary Change* 59 (2007) 10 – 16. ISSN 0921-8181
- Leiva J.C., Espizúa L., Iturraspe R., Masiokas M., Norte F., Villalba R. (2008): "La risposta dei ghiacciai argentini al clima dei secoli XX e XXI – The response of the Argentinian glaciers to the climate of the XX and XXI centuries". En *Terra Glacialis - Edizione Speciale – 2008* Editor: Servizio Glaciologico Lombardo. 240 páginas. 179-192. ISBN 978-600-1673-13-9
- Lenzano, M. G., J. C. Leiva, & L. Lenzano (2010): "Recent variation of the las Vacas glacier (Mt. Aconcagua region, Central Andes, Argentina). Based on ASTER stereoscopic images". *Advances in Geosciences*, 22, 185-189, 2010.
- Llorens, R. y Leiva, J.C. (1995): "Glaciological Studies in the High Central Andes Through Digital Processing of Satellite Images". *Mountain Research and Development*, Vol. 15, No. 4, 1995, pp.323 - 330. ISSN 0276-4741.
- Llorens, R. y J.C. Leiva, (2000): "Recent glacier fluctuations in the southern Andes". En "Southern Hemisphere Paleo- and Neoclimates. Key Sites, Methods, Data and Models", editado por P.P. Smolka & W. Volkheimer, pág. 143 – 149, 381 Páginas. Springer, Berlín, ALEMANIA. ISBN 3-540-66589-7.
- Masiokas, M.H., Delgado, S., Pitte, P., Villalba, R. 2010. Inventario de glaciares de la zona Lago Viedma –Lago del Desierto, Provincia de Santa Cruz. Seminario "Tecnología Satelital para reducir la Incertidumbre de los Escenarios Climáticos e Hidrológicos – identificación y monitoreo de Glaciares", CONAE, Barreal, San Juan, 9-13 Agosto 2010.
- Masiokas, M.H.; Rivera, A.; Espizua, L.E.; Villalba, R.; Delgado, S.; Aravena, J.C. 2009. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4), 242-268.
- METI/NASA/USGS, 2009. ASTER Global DEM Validation Summary Report, Tech. rep., METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, USGS/EROS. 2015, 2021, 2031.
- Mihalcea, C., Brock, B.W., Diolaiuti, G., D'Agata, C., Citterio, M., Kirkbride, M.P., Cutler, M.E.J., Smiraglia, C. (2008) Using ASTER satellite and ground-based surface temperature measurements to derive supraglacial debris cover and thickness patterns on Miage Glacier (Mont Blanc Massif, Italy). *Cold Regions Science and Technology* 52 (2008) 341–354.

- Müller, F., T. Caflisch, et al. 1977. Instructions for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory. TTS/WGI, Department of Geography, ETH. Zurich. 19 p.
- Paul, F. (2003) The new Swiss Glacier Inventory: Application of Remote Sensing and GIS. Dissertation zur Erlangung der naturwissenschaftlichen Doktorwürde. Universität Zürich.
- Paul, F. and Haeberli, W., 2008. Spatial variability of glacier elevation changes in the Swiss Alps obtained from two digital elevation models, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L21502, doi:10.1029/2008GL034718, <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL034718>, 2008. 2020, 2029
- Paul, F., Andreassen, L. M. (2009) A new glacier inventory for the Svartisen region, Norway, from Landsat ETM+ data: challenges and change assessment. *Journal of Glaciology*, Vol. 55, No. 192.
- Rabassa, J., Rubulis, S., y Suarez, J., 1978a. Los glaciares del Monte Tronador. *Anales de Parques Nacionales XIV*, 259–318.
- Rabassa, J., Rubulis, S. y Suárez, J., 1978b. Glacier Inventory of the northern Patagonian Andes, Argentina between latitude 39°S and latitude 42° 20' S. Internal report to the Temporary technical Secretariat (TTS) for World Glacier Inventory, Swiss Federal Institute of technology, Zürich.
- Racoviteanu, A. E., Paul, F., Raup, B., Khalsa, S.J.S., Armstrong, R. (2009) Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: results of the 2008 Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) workshop, Boulder, Colorado, USA. *Annals of Glaciology* 50 (53).
- Rees, G.W. 2006. Remote Sensing of Snow and Ice. Taylor & Francis, 285 pp.
- Rignot, E., Rivera, A., and Casassa, G. , 2003. Contribution of the Patagonia Icefields of South America 5 to sea level rise, *Science*, 302, 434–437  
<http://dx.doi.org/10.1126/science.1087393>, 2020
- Ruiz, L., 2009. Inventario Preliminar de Glaciares de las Cuencas Alerce, Tigre, Blanco y Villegas Oeste. Informe inedito. Dirección General de Bosques y Parques de la Provincia de Chubut, Esquel. 21p.
- Ruiz, L., Trombotto D. and Villalba, 2010. A preliminary remote sensing glacier inventory for the Wet Andes, Argentina and Chile, between 42°S and 42°10'S. *VICC2010 International Glaciological Conference Ice and Climate Change: A View from the South Valdivia*, Abstract Book, pp 36.
- Schiefer, E., Menounos, B., and Wheate, R.: Recent volume loss of British Columbian glaciers, Canada, 2009. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L16503, doi:10.1029/2007GL030780, <http://dx.doi.org/10.1029/2007GL030780>, 2007. 2020, 2023, 2026
- Schrott, L., 1996. Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). *Z. Geomorph. n.F. Suppl. Db.* 104. 161-173p . Berlin-Stuttgart. SIG 250. Especificaciones SIG 250. <http://sig.ign.gob.ar/>
- Skvarca, P. and H. De Angelis. 2003. Impact assessment of climatic warming on glaciers and ice shelves on northeastern Antarctic Peninsula. In: Domack, E., A. Burnett, A. Leventer, P. Convey, M. Kirby and R. Bindshadler (Eds.) "Antarctic Peninsula Climate Variability: A Historical and Palaeoenvironmental Perspective", American Geophysical Union, Antarctic Research Series, 69-78.
- Skvarca, P. y Marinsek, S. 2010. Uso de datos satelitales para estudiar la dinámica de glaciares que alimentaban la Barrera de Hielo Larsen, Antártida. Seminario "Tecnología Satelital para reducir la Incertidumbre de los Escenarios Climáticos e Hidrológicos – identificación y monitoreo de Glaciares", CONAE, Barreal, San Juan, 9-13 Agosto 2010.

- Trombotto, D. 2000. Survey of cryogenic processes, periglacial forms and permafrost conditions in South America. *Revista do Instituto Geológico, Sao Paulo* 21 (1/2). 33-55 pp.
- Trombotto, D. 2002. El ambiente criogénico actual y el paleopermafrost en el extremo austral de América del sur. *IANIGLA, 30 años de investigación básica y aplicada en ciencias ambientales*. D. Trombotto and R. Villalba (Ed.). IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina. 65-69 pp.
- Trombotto, D. 2008. Geocryology of Southern South America. *Development in Quaternary Sciences*(Ed). 11. 255-268 pp.
- UNESCO-IASH. 1970. Perennial ice and snow masses. A guide for compilation and assemblage of data for a world inventory. Technical papers in hydrology 1. UNESCO. France. 56 p.
- UNEP, 2007. Global Glacier Changes: Facts and Figures. United Nations Environment Programme, DEWA/GRID-Europe. 88 p. <http://www.grid.unep.ch/glaciers/>
- Unger, C., L. E. Espizua, et al. 2000. Untersuchung von Gletscherständen im Tal des Río Mendoza (zentralargentinische Anden) - Kartierung auf eines Surge-vorstosses des Horcones Inferior. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 36. 151-157. pp.
- WGMS. 1967. Fluctuations of glaciers 1959-1965, Vol. I. IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO. Paris. 52 p.
- WGMS. 1973. Fluctuations of glaciers 1965-1970, Vol. II. IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO. Paris. 357 p.
- WGMS. 1977. Fluctuations of glaciers 1970-1975, Vol. III. IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO. Paris. 269 p.
- WGMS. 1985. Fluctuations of glaciers 1975-1980, Vol. IV. IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO. Paris. 265 p.
- WGMS. 1988. Fluctuations of glaciers 1980-1985, Vol. V. IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO. Paris. 290 p.
- WGMS. 1989. World Glacier Inventory. Status 1998. IAHS(ICSI)/UNEP/UNESCO. Teufen, Schweiz. 443 p.
- WGMS. 1993. Fluctuations of glaciers 1985-1990, Vol. VI. IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO. Paris. 322 p.
- WGMS. 1998. Fluctuations of glaciers 1990-1995, Vol. VII. IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO. Paris. 296 p.
- WGMS. 2008. Fluctuations of glaciers 2000-2005, Vol. IX. ICSU (FAGS)/IUGG (IACS)/UNEP/UNESCO/WMO. Zurich. 285 p.
- Williams, R. S. and J. G. Ferrigno (Eds). 1999. Satellite image atlas of glaciers of the world: South America. USGS Professional Paper 1386-I. Denver, USA. USGS. <http://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/>



Cerro Hermoso, Santa Cruz

## Anexo 1

### Anexo 1: Definiciones complementarias

#### 1) Términos generales

##### Alta, media y baja montaña

En general estos términos son utilizados para diferenciar zonas montañosas en base al clima, vegetación o condiciones para la vida que en ellas se desarrollan. Por ejemplo, en general se podría considerar a la alta montaña a la zona donde prevalece el frío y la nieve y la vegetación es escasa o nula, a la zona media al sector donde se desarrolla el bosque, pero el relieve es importante, y a la zona de baja montaña donde las temperaturas son más elevadas, la vegetación abundante, y el relieve y la altitud no son significativos. Sin embargo, estos términos son relativos y dependen, entre otras cosas, del objetivo que se persigue y de la latitud de la zona en cuestión. Por ejemplo, en la zonas tropicales (baja latitud), condiciones de alta montaña se alcanzan alrededor o por encima de los 5000 metros sobre el nivel mar, sin embargo en alta latitudes como puede ser Tierra de Fuego, las condiciones de alta montaña se pueden alcanzar a los escasos 1000 metros sobre el nivel mar o menos si consideramos a los glaciares como parte de este ámbito.

Estos términos fueron ingresados al texto original en la Cámara de Diputados (sesión del día Jueves 15 de Julio de 2010) con el objetivo de que ningún ámbito donde se desarrollen reservas hídricas en estado sólido en el país quede desprotegido. Sin embargo, es importante aclarar que las reservas hídricas en estado sólido se desarrollan en condiciones donde la nieve y el hielo son comunes (ver definición de glaciar y de ambiente periglacial), condiciones asociadas con el término de alta montaña. Es por eso que cualquier definición de alta, media y baja montaña como un ambiente donde se pueden desarrollar reservas de agua en esta sólido es arbitrario y en su lugar sugerimos seguir las definiciones técnicas que definen al ambiente periglacial y/o las áreas englazadas.

##### ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model)

Este Modelo Digital de Elevación (MDE) fue desarrollado en conjunto por el METI (Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan) y la NASA (National Aeronautics and Space Administration of United States). El ASTER GDEM es una contribución de estos dos



organismos al Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) y está disponible en forma gratuita vía Internet en el sitio Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC) of Japan y el NASA's Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). Este modelo, creado a partir de casi 1,3 millones de imágenes estéreoescópicas recogidas por el radiómetro japonés llamado ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), presenta una resolución espacial de 30 m, una precisión en altura de 20 m, y una cobertura global desde los 83°N a los 83°S.

El radiómetro ASTER es uno de los cinco instrumentos de observación de la Tierra que viajan a bordo del satélite americano Terra, lanzado en diciembre de 1999. ASTER recoge las imágenes del espectro visible y también las regiones de longitud de onda de las radiaciones térmicas infrarrojas, con resoluciones espaciales que van desde unos 15 a 90 metros. Los modelos digitales de elevación son realizados mediante espectroscopía a partir de dos telescopios: uno mira en la dirección del nadir (VNIR 3N) y otro hacia atrás (VNIR 3B). Debido a que la diferencia en el tiempo de toma de cada imagen es de sólo 55 segundos, no es necesario hacer correcciones atmosféricas. Esta es la primera versión de este producto y todavía contiene anomalías y artefactos que reducen su uso para estudios de precisión. Por lo tanto, en los trabajos de inventario aquí propuestos, sólo será utilizado en aquellas zonas donde el SRTM no tenga datos.

#### Cartas topográficas digitalizadas del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

La cartografía oficial de base a escalas 1:250.000, 1:100.000 y 1:50.000 es la que elabora el Instituto Geográfico Nacional, de acuerdo a lo establecido por la "Ley de la Carta". El IGN, a partir de sus fuentes cartográficas y geodésicas, ha realizado un Sistema de Información Geográfica SIG-IGN. El SIG250 es el Sistema de Información Geográfica proveniente de la información de la carta topográfica de escala 1:250.000, materializando los diferentes rasgos planimétricos y altimétricos en el sistema mediante puntos, arcos y polígonos. La información se vuelca en diferentes capas temáticas, donde las bases de datos asociadas contienen los atributos cartográficos en diferentes campos con registros homogeneizados. Por su escala, su proceso de edición y actualización, es el sistema cartográfico más importante en el ámbito nacional. Por lo tanto es una importante fuente información para el inventario. Sin embargo, comparados con los modelos digitales de elevación gratuitos (ver ASTER GDEM y SRTM) en el SIG250 el grado de detalle de la información topográfica es bajo, ya que está asociado a la equidistancia de las curvas de nivel que en la mayoría de las zonas cordilleranas es de 250 metros.

#### Geoforma (en inglés landform)

Elemento (discreto) del paisaje, que tiene una forma y tamaño característicos asociados a los procesos que le dieron origen. En conjunto las geoformas constituyen la superficie (continuo) de la Tierra. La clasificación primaria es genética, asociada a los procesos y agentes geomórficos que las producen (ver crioforma).

#### GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space)

Es un proyecto internacional creado con el objetivo de compilar y promover el desarrollo de inventarios de glaciares a nivel mundial principalmente a través del uso de imágenes satelitales. Entre otras cosas los miembros de GLIMS han hecho un gran esfuerzo en desarrollar y diseminar el uso de metodologías apropiadas para la realización de inventarios de glaciares, y también para que las imágenes satelitales necesarias sean accesibles en forma gratuita a los miembros del programa. La estructura de GLIMS está organizada en Centros Regionales. IANIGLA ha sido designado por GLIMS como el Centro Regional 27 a cargo de

administrar, compilar y enviar a la base de datos global la información de inventarios de glaciares de Argentina. Los datos relevados por cada centro regional se almacenan en una base de datos global implementada en Boulder en el “National Snow and Ice Center”, Colorado, USA. Esta base de datos ha sido estructurada de tal manera de que sea compatible con la del Inventario Mundial de Glaciares (World Glacier Inventory o WGI). Más información en <http://www.glims.org/>

#### Información necesaria para una adecuada protección

Se entiende como información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo a los datos y parámetros que se obtendrán para cada unidad según lo especificado en el Nivel 1 (Información registrada y Tabla 3) y que se complementarán con los estudios de detalle de los Niveles 2 y 3.

#### IPA (International Permafrost Association)

La Asociación Internacional de Permafrost es un organismo internacional que nuclea todas las actividades y organizaciones nacionales asociadas con los suelos permanentemente congelados y sus procesos afines. Más información en <http://ipa.arcticportal.org/>

#### Reservas Estratégicas de recursos hídricos

Un recurso natural estratégico es todo recurso escaso, actual o potencialmente vital para el desarrollo de la actividad económica o para el mantenimiento de la calidad de vida de un país. En caso de los recursos hídricos, en particular los recursos hídricos sólidos, “reserva estratégica” se refiere a la capacidad de regulación de largo plazo. Es decir a la acumulación de agua en años de abundancia y a su liberación en años de escasez.

#### SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

Este MDE es el resultado de un proyecto en conjunto entre la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y agencias espaciales de Italia y Alemania, quienes generaron modelos digitales de la mayor parte de la superficie terrestre (área comprendida entre 57° de latitud sur y 60.25° de latitud norte, aproximadamente el 80% de la superficie del planeta). Esta misión emplea la técnica conocida como radar interferométrico o InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar). InSAR es una técnica que permite extraer información de la topografía del terreno a partir de la diferencia de fase de la señal SAR. Puede emplearse a bordo de aviones o plataformas espaciales. Si bien el objetivo primario era obtener un MDE de todo el globo existen zonas donde no hay información. Estos vacíos o zonas sin dato ocurren principalmente en los cuerpos de agua (lagos y ríos), áreas cubiertas por nieve, zonas con excesiva interferencia atmosférica y en zonas montañosas, particularmente en la áreas que la “sombra del radar” coincide con la orientación de la ladera (Jarvis et al., 2008). Estas zonas si bien son comunes en las zonas montañosas, han sido removidas y actualmente gracias al post procesamiento de los datos originales, mejoras en el relleno de las zonas sin datos y en los contornos de las superficies cubiertas por agua, además de tener una mejor relación señal/ruido se tiene un producto de muy buena calidad en forma gratuita para casi todo el planeta (Jarvis et al., 2008).

#### World Glacier Inventory (WGI)

El inventario mundial de glaciares contiene datos de más de 100.000 glaciares de todo el mundo, y está basado principalmente en la base de datos del WGMS. En 1998 el WGMS y el NSDIC (National Snow and Ice Center) crearon un convenio para colocar la información del inventario en forma gratuita en internet.

Más información en [http://nsidc.org/data/glacier\\_inventory/](http://nsidc.org/data/glacier_inventory/)

#### World Glacier Monitoring Service (WGMS)

Desde 1986, es el organismo encargado de coleccionar y estandarizar todas las observaciones de cambios de masa, área, volumen y largo de los glaciares a través del tiempo, además de la información estadística asociada con la distribución de los glaciares y masas de hielo perennes en el planeta. La Dra. Lydia Espizua del IANIGLA es la representante argentina ante el WGMS. Más información en <http://www.geo.uzh.ch/microsite/wgms/index.html>



**Figura 9.** Sector frontal del Glaciar Viedma, Campo de Hielo Patagónico Sur, Santa Cruz.



Glaciar Don Vedo, Cordón de las Agujas, Chubut

## Términos glaciológicos

### 2) Términos glaciológicos

#### Ablación

Conjunto de procesos por los cuales un glaciar pierde masa. Incluye derretimiento, sublimación y evaporación.

#### Acumulación

Conjunto de procesos por los cuales un glaciar gana masa. Incluye, nevadas, avalanchas, nieve dispersada por el viento.

#### Firn o Nevé

El firn es nieve vieja, de más de un año, que se ha recrystalizado en una sustancia de mayor densidad, superior a  $0.55 \text{ g/cm}^3$ . La nieve que cae en el área de acumulación del glaciar se transforma, por compresión de las capas superiores, en un material más denso pero aún poroso denominado firn y, si el proceso de densificación continúa, finalmente se transforma en hielo.

#### Frente del glaciar

Es el extremo en la parte inferior de un glaciar.

#### Glaciares (complementario del punto 5: Definiciones a los fines del Inventario Nacional)

Los glaciares son básicamente cuerpos de nieve y de hielo que se mueven pendiente abajo por acción de la gravedad y que han sido formados por la recrystalización de la nieve (UNEP/GEMS, 1992). Los glaciares se forman en áreas donde la cantidad de nieve caída en invierno excede a la cantidad que se pierde en verano. El movimiento del glaciar transfiere el exceso de nieve y de hielo (formado a partir de la nieve) desde el área de acumulación, en la parte superior del glaciar hacia el área de ablación, en la parte inferior del mismo.

#### Glaciares, clasificaciones

Básicamente existen tres tipos de clasificaciones para los glaciares: una clasificación morfológica a partir de la forma y tamaño de los mismos, una clasificación climática que tiene



en cuenta el clima donde está presente el glaciar, y una clasificación termal que se basa en la temperatura del hielo glaciar y está relacionada en parte con la climática. Es importante señalar que estas clasificaciones son complementarias.

La clasificación climática se basa en el hecho que el clima condiciona gran parte de la dinámica de los glaciares, desde cuánta nieve se acumula o se derrite, cuánta agua aportan a la escorrentía de superficie, hasta cuestiones dinámicas de estos cuerpos de hielo (deformación y velocidad). Siguiendo esta clasificación los glaciares pueden separarse en tropicales, subtropicales (glaciares de los Andes Desérticos y Centrales), templados (glaciares del norte de la Patagonia), subantárticos (glaciares del Campo de Hielo Sur), y polares (Península Antártica). La clasificación térmica de los glaciares, divide a los mismos en templados, cuando la mayor parte del hielo está cercana a los 0°C, fríos cuando la mayoría del cuerpo del glaciar está muy por debajo de los 0°C, y politermales cuando hay partes del glaciar que están muy por debajo de 0°C y otras en las que las temperaturas rondan los 0°C. Los glaciares templados, por estar cerca del punto de fusión del hielo, en general tienen mucha agua en su interior y en la base, lo que les permite moverse no sólo por deformación sino también por deslizamiento basal. En cambio, los glaciares fríos, con temperaturas muy por debajo del punto de fusión, no tienen agua en la base y por lo tanto no hay deslizamiento basal. Estos glaciares son mucho menos activos ya que sólo pueden moverse por deformación plástica del hielo. Los glaciares politermales son una mezcla de las dos categorías anteriores, y en general tienen áreas de acumulación de base fría y áreas de ablación o parte de ellas con hielo templado. Por último la clasificación morfológica se basa en el tamaño y forma de los glaciares, y según el WGMS las formas primarias son:

#### *Sábana de hielo*

Es una gran masa de hielo que cubre un continente o gran parte de él. En la actualidad solo existen dos: Antártida y Groenlandia. Las sábanas de hielo no están totalmente controladas por la topografía de la corteza que subyace al hielo. También se caracteriza por ser más activas en sus bordes y a lo largo de corrientes de hielo. Las partes más altas y abombadas se denominan domos, y se caracterizan por su escasa pendiente, gran elevación y flujo de hielo muy limitado.

#### *Barrera de hielo flotante*

Es la porción flotante de un glaciar cuyo frente termina en el océano. Usualmente tiene una gran extensión horizontal y una superficie plana o suavemente ondulada. Las principales barreras se encuentran en la Antártida (Ross, Ronne-Filchner y Amery).

#### *Corrientes de hielo*

Se refiere a grandes glaciares que drenan una sábana de hielo con velocidades muy elevadas. Existen dos tipos principales de corrientes de hielo, confinadas y no confinadas. Las confinadas están asociadas a depresiones donde converge el hielo, el cual por el calor generado por la fricción con los laterales disminuye su viscosidad y aumenta su velocidad de deslizamiento. Por su parte las corrientes de hielo no confinadas, están asociadas a zonas donde existen sedimentos susceptibles de ser deformados por debajo de las sábanas de hielo, en estos casos, la inmensa presión que ejerce el hielo deforma estos sedimentos y permite el rápido movimiento del mismo. Las corrientes de hielo no exhiben una delimitación precisa en todos sus márgenes, sin embargo en algunas zonas son más visibles por grietas laterales que separan las zonas de máximo flujo de aquellas zonas menos activas. Las corrientes de hielo son las principales abastecedoras de hielo de las barreras de hielo flotante y en general drenan la mayor cantidad de área de las sábanas de hielo.

*Domo de hielo o casquete (ice cap)*

Masa de hielo glaciar no confinada, con forma de domo que fluye en todas las direcciones.

*Campo de hielo (ice field)*

Masa de hielo glaciar, confinada topográficamente, que tiene una superficie relativamente plana, y de la cual fluyen glaciares de descarga.

*Glaciar de piedemonte*

Lóbulo de hielo de grandes dimensiones, con forma de abanico y que es significativamente más ancho que la porción superior de la lengua glaciar.

*Glaciar de montaña*

Un glaciar que se encuentra confinado por la topografía del terreno montañoso que lo rodea; frecuentemente localizado en un circo o nicho (Müller et al., 1977). Incluye glaciares de circo, de nicho y de cráter.

*Glaciar de valle*

Glaciar con un área de acumulación bien definida, cuya lengua esta encauzada y fluye valle abajo.

*Glaciar de descarga*

Glaciar de valle que fluye o nace desde el interior de un campo de hielo, domo de hielo y/o sabana de hielo, transfiriendo masa hacia las zona más bajas.

Hielo perenne

Agua en estado sólido, formado por compactación de la nieve. Para ser considerado perenne el hielo tiene que permanecer en un sitio por dos o más años.

Línea de equilibrio

Es una línea imaginaria que separa la zona donde el glaciar gana masa (*área de acumulación*) de la zona donde el glaciar pierde masa (*área de ablación*). Es decir que en la línea de equilibrio el balance de masa es igual a 0. La altitud de la línea de equilibrio (ELA, por sus siglas en inglés *Equilibrium Line Altitude*) es uno de los parámetros más utilizados para relacionar la evolución del glaciar y el clima. Estrictamente la misma tiene que derivarse de un estudio de balances de masa, sin embargo para algunos glaciares es posible aproximar la ubicación de la línea de equilibrio a partir de la línea de nieve o firn.

Línea de nieve o firn

Es el límite que separa el área por encima de la cual la nieve depositada durante el invierno se mantiene durante el verano siguiente. Para glaciares templados la altura de la línea de nieve del final del verano o temporada de ablación es una buena aproximación de la altura de la línea de equilibrio o ELA.

Manchón de nieve permanente, glaciarete

Pequeñas masas de nieve y hielo de forma indefinida. Se localizan generalmente en depresiones, lechos de ríos y pendientes protegidas. En general se desarrollan a partir de nieve barrida por el viento, avalanchas y/o fuertes acumulaciones en varios años. Normalmente no presentan patrones de flujo visibles, existen al menos por dos años consecutivos.



### Manto nival o cobertura de nieve

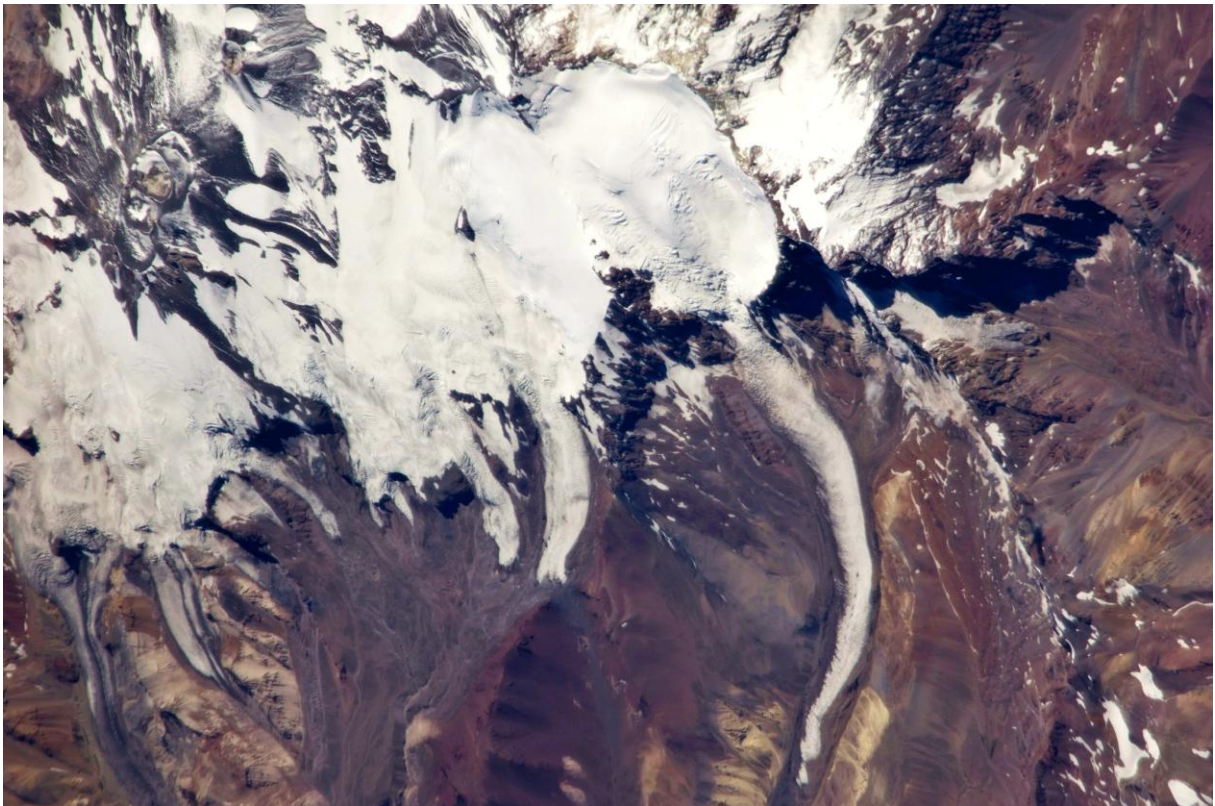
Acumulación de precipitación atmosférica en forma de nieve, cubriendo el suelo de forma más o menos continua.

### Movimiento del glaciar

El movimiento de los glaciares se genera debido al exceso de nieve y de hielo acumulado en la parte superior, la cual se transfiere luego de sobrepasar un umbral de espesor y pendiente a la parte inferior del mismo. Teóricamente el movimiento se produce por tres mecanismos básicos o una combinación de éstos: deformación plástica del hielo, deslizamiento basal, y deformación del sustrato o material subglacial.

### Nieve

Fenómeno meteorológico que consiste en la precipitación de pequeños cristales de hielo.



**Figura 10.** Glaciares del Volcán San José del Maipo y Cerro Marmolejo, Andes Centrales, Mendoza.



Glaciar de escombros Morenas Coloradas, Mendoza

## Términos geocriológicos

### 3) Términos geocriológicos

Los términos y conceptos que siguen abajo están avalados por la nomenclatura y las definiciones utilizadas por la Internacional Permafrost Association (IPA), que es la asociación internacional que reúne a los especialistas más importantes del mundo en la disciplina de Geocriología. Argentina es un país asociado desde sus orígenes al IPA, que como cuerpo colegiado se conforma en 1983. Sin embargo, Corte en 1978 ya presenta el tema de los glaciares de escombros y su terminología en un inventario preliminar del río Cuevas en la reunión ICOP de Edmonton, Canadá. Este tipo de reuniones que continúan hasta la fecha, con sus libros (proceedings) como resultado, muestran el desarrollo de la disciplina continuamente y plantean los parámetros en los que se basan los científicos argentinos que trabajan en los ecosistemas con permafrost.

#### Ambiente periglacial

El *ambiente periglacial* es un ambiente frío y criogénico pero no glaciario, por arriba del límite superior del bosque si éste existe. El límite con el ambiente glaciario puede ser difuso, pero el límite con el ambiente no periglacial está claramente marcado por los siguientes indicadores importantes (Trombott 1991, 2000, 2009):

- ocurrencia de permafrost en profundidad, o suelo congelado permanente, y presencia de hielo subterráneo entrampado y preservado bajo condiciones naturales por largo tiempo, constituyendo así el elemento decisivo del ambiente criogénico;
- dominio del proceso de congelamiento, con ciclos de congelamiento y descongelamiento que afectan a las rocas y a la parte superior del suelo; y
- presencia de soliflucción y otros procesos criogénicos (crioclastía, selección, crioturbación, etc.) que conducen a la denominada “geomorfología periglacial”, como por ejemplo, es la formación de “suelos estructurados” en pequeña escala o a los “glaciares de escombros” en una mesoescala.

Si bien, para algunos autores del hemisferio norte, el permafrost no representa un elemento *sine qua non* del ambiente periglacial, sí lo es para los geocriólogos que trabajan en la Cordillera de los Andes, y debe mencionarse y especificarse (Trombott 2009).

### Capa activa

Es la capa superior del terreno que esta sujeto al ciclo anual de congelamiento y descongelamiento en áreas con permafrost.

### Crioforma

Geoforma asociada y/o producida por procesos periglaciales (ver definición de periglacial).

### Glaciar de escombros, litoglaciar, glaciar rocoso, *rockglacier* (definición ampliada del apartado 5)

El *glaciar de escombros* es una mesoforma criogénica de permafrost de montaña, sobresaturada en hielo que, si es activa, se mueve pendiente abajo por gravedad y por reptación y deformación del permafrost. Es una manifestación de un tipo de permafrost que se llama *creeping permafrost*. En general tiene forma de lengua o lóbulo con morfología superficiales similares a la de un colada de lava. Sin embargo, sobretodo, en los Andes Centrales pueden alcanzar morfologías muy complejas, con zonas de aporte o de generación de cuencas compuestas y el desarrollo de más de un lóbulo frontal o una superposición de varios lóbulos.

### Glaciares de escombros, clasificaciones.

Existen diversos tipos de clasificaciones para glaciares de escombros, genética, dinámica y morfológica, cada una se basan en diferentes características pero todas son complementarias. Por ejemplo, un glaciar de escombros puede ser clasificado como criogénico (genética), activo (dinámica) y lobulado (morfológica).

La clasificación genética esta basada en el origen del agua/hielo y material detrítico que conforman el glaciar de escombros (génesis) y los procesos que le dieron origen. Se denominan glaciares de escombros criogénicos aquéllos formados por el material criogénico que viene de las canaletas de avalanchas nivodetríticas en donde se origina hielo que perdura cubierto y en la matriz de los criosedimentos en un ambiente de tipo periglacial. Los glaciares de escombros glaciogénicos, en cambio, se encuentran donde estuvieron los glaciares o en donde terminan sus lenguas actuales. Estos últimos suelen tener una zona de periglaciación, a partir de la cual till y/o criosedimentos reciben la influencia o la inyección del hielo glaciar (Trombotto 2000, 2007, Trombotto y Borzotta 2009). Por otro lado la clasificación dinámica se basa en el contenido de hielo y velocidad del cuerpo de hielo. Existen tres clases, activo, inactivo y fósil. Un glaciar de escombros activo presenta evidencias de movimiento pendiente abajo y señales del mismo en superficie. En general este tipo de glaciares tiene una topografía superficial muy irregular y desarrollan pendientes frontales muy pronunciadas (35°-45°). Los glaciares de escombros que no presentan movimiento pendiente abajo, pero que todavía contienen hielo, se llaman inactivos, mientras que la acumulación de sedimentos que se mantiene luego de que el permafrost se ha derretido se conoce como glaciares de escombros fósiles (Haeberli, 1985; Barsch, 1996). Si bien la actividad de un glaciar de escombros tiene que ser confirmada mediante medidas geodésicas y/o la confirmación de la presencia de permafrost, existen algunas características morfológicas que permiten inferirla visualmente (Haeberli, 1985; Trombotto, 1991; Barsch, 1996; Ikeda y Matsuoka, 2002).

Los glaciares de escombros activos tiene una pendiente frontal de >35° libre de vegetación, con una cobertura de bloques inestables en superficie. Los inactivos tienen una pendiente frontal más tendida y presenta cobertura vegetal en el frente. También pueden tener conos de detritos al pie de la pendiente frontal y bloque estables en su superficie superior. Por otro

lado, los fósiles si bien mantienen en forma general su morfología, tienen una topografía más redondeada debido al colapso por fusión del permafrost y la vegetación cubre tanto la pendiente frontal como la superficie superior (Haeberli, 1985; Ikeda y Matsuoka, 2002; Brenning, 2005). Por último la clasificación morfológica se basa en la vista en planta del glaciar de escombros, y existen diversas nomenclaturas.

#### Permafrost o suelo congelado permanente

El término *Permafrost* puede definirse, de acuerdo al Multilanguage Glossary of Permafrost and Related Ground-Ice Terms (van Everdingen 1998), como el suelo o roca, incluyendo hielo y material orgánico, que puede permanecer en esas condiciones naturales por debajo de 0 °C por más de dos años consecutivos. Cabe aclarar que su contenido en hielo va desde prácticamente nada (situación criótica en un estado que se denomina permafrost seco) hasta una sobresaturación en hielo o con capas de hielo masivo (Trombotto 1991, 2000, Trombotto y Ahumada 2005).

#### Otras geoformas periglaciales

A demás de los glaciares de escombros existen diversas geoformas asociadas a los procesos y condiciones periglaciales, como por ejemplo; lóbulos de solifluxión, suelos estructurados, etc. Éstas tienen tamaños de metros a algunas decenas de metros y por lo tanto no representan una reserva importante en sí mismas. Por otra parte una de las geoformas periglaciales, que sí pueden ser importantes como reservas hídricas, son los *protalus rampart*. Sin embargo, este tipo de geoformas, cuando alcanza un tamaño superior a 0,01 km<sup>2</sup> y denotan movimiento pendiente abajo, ya pueden ser consideradas glaciares de escombros y por lo tanto estarán incluidos dentro del inventario.

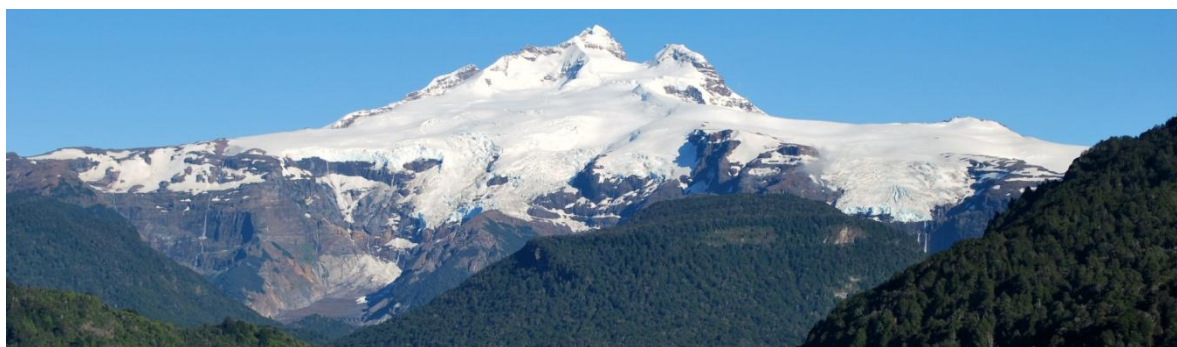
#### Protalus rampart

Cresta, o serie de cresta o rampa de detritos formada pendiente abajo de un manchón de nieve perenne o semi-permanente. En planta tiene forma curva, sinuosa o compleja. Son geoformas difícil de caracterizar, en general están en la transición entre conos de talud y glaciares de escombros fósiles. Son alimentados por avalanchas nivo-detríticas y flujos de detrito (Washburn, 1979). Si bien son muy comunes en los Andes Centrales, en general son pocos los trabajos dedicados a estas geoformas (Trombotto, 2000).

#### Zona Transicional

Parte superior del permafrost que sufren cambios térmicos dentro de un periodo de 10 años.





Cerro Tronador, Río Negro

## Anexo 2

**Anexo 2: Listado de subcuencas que se utilizarán como base para las tareas de inventario.**

	Subcuencas	Cuenca	Provincia	Región	Vertiente Hidrográfica	Sistema
1	Río Pilcomayo	Río Pilcomayo	Jujuy	Andes Desérticos	Atlántica	Río Paraguay
2	Laguna de Pozuelos	Cuencas varias de la Puna	Jujuy	Andes Desérticos	Atlántica	Independientes
3	Laguna de Vilama, Catal y Polulos	Cuencas varias de la Puna	Jujuy	Andes Desérticos	Atlántica	Independientes
4	Salina Olaroz	Cuencas varias de la Puna	Jujuy	Andes Desérticos	Atlántica	Independientes
5	Salina Jama	Cuencas varias de la Puna	Jujuy	Andes Desérticos	Atlántica	Independientes
6	Salar de Cauchari	Cuencas varias de la Puna	Jujuy	Andes Desérticos	Atlántica	Independientes
7	Salinas Grandes	Cuencas varias de la Puna	Jujuy	Andes Desérticos	Atlántica	Independientes
8	Río San Francisco	Río San Francisco	Jujuy	Andes Desérticos	Atlántica	Río Paraguay
9	Río Bermejo Superior	Río Bermejo Superior	Salta	Andes Desérticos	Atlántica	Río Paraguay
10	Salar Arizaro	Cuencas varias de la Puna	Salta	Andes Desérticos	Atlántica	Independientes
11	Río Calchaquí	Alta Cuenca del Río Juramento	Salta	Andes Desérticos	Atlántica	Río Paraná
12	Río Rosario	Alta Cuenca del Río Juramento	Salta	Andes Desérticos	Atlántica	Río Paraná
13	Río Santa María	Alta Cuenca del Río Juramento	Catamarca	Andes Desérticos	Atlántica	Río Paraná
14	Río Salí - Dulce	Río Salí - Dulce	Tucumán - Catamarca	Andes Desérticos	Atlántica	Pampeano
15	Salar de Antofalla	Cuencas varias de la Puna	Catamarca	Andes Desérticos	Atlántica	Independientes

16	Salar Pocitos	Cuencas varias de la Puna	Salta - Catamarca	Andes Desérticos	Atlántica	Independientes
17	Antofagasta de la Sierra	Cuencas varias de la Puna	Catamarca	Andes Desérticos	Atlántica	Independientes
18	Salar de Pipanaco	Cuenca del Salar de Pipanaco	Catamarca	Andes Desérticos	Atlántica	Serrano
19	Río Colorado	Río Abaucán	Catamarca	Andes Desérticos	Atlántica	Serrano
20	Río Vinchina - Bermejo	Río Vinchina - Bermejo	La Rioja - San Juan	Andes Desérticos	Atlántica	Río Colorado
21	Río Blanco (norte)	Río Jáchal	La Rioja - San Juan	Andes Desérticos	Atlántica	Río Colorado
22	Río de la Palca	Río Jáchal	San Juan	Andes Desérticos	Atlántica	Río Colorado
23	Río Blanco (sur)	Río Jáchal	San Juan	Andes Desérticos	Atlántica	Río Colorado
24	Río Castaño	Río San Juan	San Juan	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
25	Río Calingasta	Río San Juan	San Juan	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
26	Río de Ansilta	Río San Juan	San Juan	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
27	Río Blanco (sur)	Río San Juan	San Juan	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
28	Río de los Patos	Río San Juan	San Juan	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
29	Arroyo Uspallata	Río Mendoza	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
30	Río Picheuta	Río Mendoza	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
31	Río de las Vacas	Río Mendoza	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
32	Río Tupungato	Río Mendoza	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
33	Río Mendoza (medio)	Río Mendoza	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
34	Río Blanco	Río Mendoza	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
35	Río Tunuyán (norte)	Río Tunuyán	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
36	Río Tunuyán (sur)	Río Tunuyán	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
37	Río Diamante	Río Diamante	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
38	Río Atuel	Río Atuel	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
39	Cuenca de Llancanelo	Laguna Llancanelo	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Independientes
40	Río Grande	Río Colorado	Mendoza	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
41	Río Barrancas	Río Colorado	Neuquén	Andes Centrales	Atlántica	Río Colorado
42	Río Neuquén (norte)	Río Neuquén	Neuquén	Andes del Norte de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
43	Río Agrio	Río Neuquén	Neuquén	Andes del Norte de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
44	Río Collon Cura	Río Limay	Neuquén	Andes del Norte de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
45	Río Hua Hum	Río Hua Hum	Neuquén	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
46	Río Limay (sur)	Río Limay	Neuquén - Río Negro	Andes del Norte de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
47	Río Manso	Ríos Manso y Puelo	Río Negro	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico



48	Río Alto Chubut	Río Chubut	Río Negro - Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
49	Río Gualjaina	Río Chubut	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
50	Lago Puelo	Ríos Manso y Puelo	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
51	Río Turbio	Ríos Manso y Puelo	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
52	Río Carrileufú	Río Futaleufú	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
53	Río Futaleufú	Río Futaleufú	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
54	Río Percey	Río Futaleufú	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
55	Río Frío	Ríos Carrenleufú y Pico	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
56	Río Carrenleufú	Ríos Carrenleufú y Pico	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
57	Río Pico	Ríos Carrenleufú y Pico	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
58	Río Senguerr	Ríos Senguerr y Chico	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
59	Río Simpson	Río Simpson	Chubut	Andes del Norte de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
60	Río Deseado	Río Deseado	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
61	Lago Buenos Aires	Lagos Buenos Aires y Pueyrredón	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
62	Lago Pueyrredón	Lagos Buenos Aires y Pueyrredón	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
63	Río Chico	Río Chico	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
64	Río Nansen	Río Mayer y Lago San Martín	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
65	Río Mayer	Río Mayer y Lago San Martín	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
66	Lago San Martín	Río Mayer y Lago San Martín	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
67	Río De las Vueltas	Río Santa Cruz	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
68	Río La Leona	Río Santa Cruz	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
69	Lago Argentino	Río Santa Cruz	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
70	Río Vizcachas	Río Vizcachas	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Pacífica	Océano Pacífico
71	Río Coig	Río Coig o Coyle	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
72	Río Gallegos	Ríos Gallegos y Chico	Santa Cruz	Andes del Sur de la Patagonia	Atlántica	Ríos Patagónicos
73	Subcuencas atlánticas	Cuencas varias de Tierra del Fuego	Tierra del Fuego	Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur	Atlántica	Ríos Patagónicos
74	Lago Fagnano	Lago Fagnano	Tierra del Fuego	Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur	Pacífica	Océano Pacífico

75	Canal de Beagle	Cuencas varias de Tierra del Fuego	Tierra del Fuego	Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur	Atlántica	Ríos Patagónicos
76	Islas Malvinas	Islas Malvinas	Islas del Atlántico Sur	Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur	Atlántica	Islas del Atlántico Sur
77	Islas Georgias del Sur	Islas Georgias del Sur	Islas del Atlántico Sur	Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur	Atlántica	Islas del Atlántico Sur
78	Islas Orcadas del Sur	Islas Orcadas del Sur	Islas del Atlántico Sur	Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur	Atlántica	Islas del Atlántico Sur
79	Islas Sandwich del Sur	Islas Sandwich del Sur	Islas del Atlántico Sur	Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur	Atlántica	Islas del Atlántico Sur



**Figura 11.** Glaciar Upsala y tributarios, Campo de Hielo Patagónico Sur, Santa Cruz.



Cerros San Lorenzo y Hermoso, Santa Cruz

## Anexo 3

### **Anexo 3: Acciones fijadas por la Dirección de Gestión Ambiental de los Recursos Hídricos de la Secretaría de Ambiente de la Nación**

#### Acciones:

1. Coordinar las políticas, planes y acciones de los distintos sectores del gobierno nacional que afecten la preservación de la calidad y/o disponibilidad de los recursos hídricos, sus ecosistemas y el medio social asociados.
2. Elaborar y ejecutar programas y acciones que desde el Estado Nacional promuevan la gestión ambiental de cuencas hídricas y su manejo integrado, y el uso sustentable del agua, en coordinación con los organismos y jurisdicciones involucradas.
3. Elaborar y ejecutar programas y acciones para el diagnóstico y evolución del estado de los cuerpos de agua continentales, superficiales y subterráneos, y marítimos, el registro de los datos obtenidos y su publicación.
4. Promover y desarrollar programas para la determinación de valores indicativos de la calidad de un cuerpo de agua según diferentes usos, índices de calidad, límites de vertido, asistiendo en aspectos de su competencia a los sectores de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable que entienden en el análisis y propuesta de modificación de los presupuestos mínimos de protección ambiental.
5. Promover y ejecutar programas para el desarrollo de nuevos productos y tecnologías tendientes al uso sustentable de los recursos hídricos y su protección.
6. Promover planes de acción a nivel nacional para asegurar el derecho al acceso a un agua segura en todas las comunidades.